

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-357645

(43)Date of publication of application : 26.12.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 13/18

G02B 13/24

G03F 7/20

(21)Application number : 11-167424

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 14.06.1999

(72)Inventor : TERASAWA CHIAKI

KATO TAKASHI

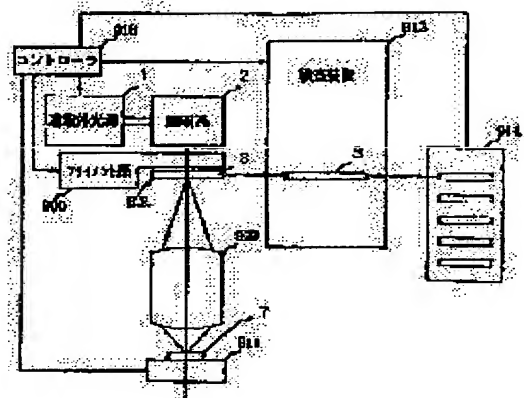
ISHII HIROYUKI

(54) PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To exhibit high optical performance over the entire exposure region, easily achieve a higher NA and give a wide exposure region by providing a projection optical system having at least one aspherical lens which is aspherical at both surfaces thereof so that distortions, curvature of field, astigmatism, coma, spherical aberrations, and the like can be corrected satisfactorily.

SOLUTION: A whole optical system is formed of a plurality of lens groups which include a group of lenses of positive refracting power and a group of lenses of negative refracting power, and its power (refracting power) distribution is set properly. A projection optical system 909 includes at least a single lens which is aspherical at both surfaces thereof. Even if one or more aspherical lenses are used, one of such aspherical lenses must be aspherical at both surfaces thereof, or each of all such aspherical lenses must be aspherical at both surfaces thereof. Differences in aberration correcting performance between a both-sided aspherical lens and a single-sided aspherical lens become noticeable, when the lens is applied to a projection optical system up to higher-degree aberration corrections is required.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.04.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-357645

(P2000-357645A)

(43) 公開日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D 2 H 0 8 7
G 0 2 B 13/18		G 0 2 B 13/18	5 F 0 4 6
	13/24	13/24	
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
		H 0 1 L 21/30	5 2 7
		審査請求 有	請求項の数14 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願平11-167424

(22) 出願日 平成11年6月14日 (1999. 6. 14)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 加藤 隆志

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

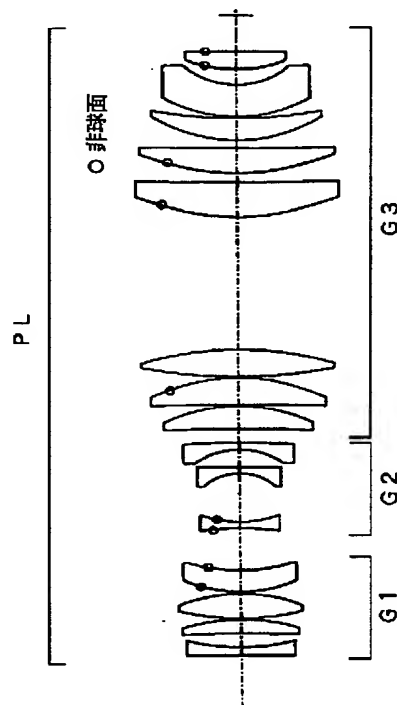
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】非球面を効果的に用いることにより少ないレンズ枚数ながら、露光領域全般にわたり高い光学性能を有し、高NA化と広い露光領域を達成した投影光学系を提供すること。

【解決手段】少なくとも1枚以上の非球面レンズを有し、少なくとも前記非球面レンズのうち1枚は両面が非球面であること、または全ての非球面レンズは両面が非球面であることを主とし、パワー分担を適切に設定し、適正な非球面量を与え、非球面形状を所定の条件を満足するように規定した光学系。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レチクル面のパターンを投影光学系で感光基板に投影露光する投影露光装置において、該投影光学系は両面が非球面の非球面レンズを少なくとも1つ有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 レチクル面のパターンを投影光学系で感光基板に投影露光する投影露光装置において、該投影光学系は少なくとも1つの非球面レンズを有し、非球面レンズはすべて両面が非球面であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 前記投影光学系は正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群からなる複数のレンズ群を有し、該投影光学系の共役長をL、各負レンズ群のパワーの総和を ϕ_o としたとき

$$|L \times \phi_o| > 17 \quad (\phi_o = \sum \phi_{oi} \quad \phi_{oi} \text{は第} i \text{負群のパワー})$$

であり、該非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ としたとき

$$|\Delta ASPH / L| > 1.0 \times 10^{-6}$$

を満足することを特徴とする請求項1又は2の投影露光装置。

【請求項4】 面の中心から周辺部にかけて、互いに局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有する2つの非球面を有することを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項5】 前記2つの非球面とは、両面が非球面である非球面レンズの両面であることを特徴とする請求項4の投影露光装置。

【請求項6】 前記各レンズ群は両面が非球面である非球面レンズを含んでいることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

$$|L \times \phi_o| < 70$$

$$|\Delta ASPH / L| < 0.02$$

を満足することを特徴とする請求項3～6のいずれか1項の投影露光装置。

【請求項8】 前記投影光学系は、正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群からなる複数のレンズ群を有し、前記投影光学系の共役長をL、各負レンズ群のパワーの総和を ϕ_o としたとき

$$|L \times \phi_o| > 17$$

であり、軸上マージナル光線の高さをh、最軸外主光線の高さを h_b としたとき

$$|h_b / h| > 0.35$$

を満足する面の少なくとも2面を非球面とし、該非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ としたとき

$$|\Delta ASPH / L| > 1.0 \times 10^{-6}$$

を満足することを特徴とする請求項1又は2の投影露光装置。

【請求項9】 面の中心から周辺部にかけて、互いに局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有する2つの非球面を有することを特徴とする請求項8の投影露光装置。

【請求項10】 前記2つの非球面とは、両面が非球面

である非球面レンズの両面であることを特徴とする請求項9の投影露光装置。

【請求項11】 前記各レンズ群は両面が非球面である非球面レンズを含んでいることを特徴とする請求項8の投影露光装置。

$$|L \times \phi_o| < 70$$

$$|h_b / h| < 15$$

$$|\Delta ASPH / L| < 0.02$$

を満足することを特徴とする請求項8から11のいずれか1項の投影露光装置。

【請求項13】 前記投影光学系は物像界で両側テレセントリック系であることを特徴とする請求項1から12のいずれか1項の投影露光装置。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか1項の投影露光装置を用いてレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影光学系及びそれを用いた投影露光装置に関し、例えばレチクルパターンを感光基板に、ステップアンドリピート方式、又はステップアンドスキャン方式等を利用して投影露光し、IC、LSI、CCD、液晶パネル等のサブミクロン、又はクォーターミクロン以下の高集積度のデバイス（半導体素子）を製造する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子の製造用の投影露光装置では、照明系（照明光学系）からの光束（露光光）で電子回路パターンを形成したレチクルを照射し、該パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光している。

【0003】近年、半導体素子の高集積化が進むに従い、投影光学系に対する仕様や性能もますます厳しいものが要求されてきている。一般に高い解像力を得るためには露光波長の短波長化、投影光学系の収差の良好なる補正、投影光学系のNAの高NA化等が有効な手段として用いられている。

【0004】従来より露光光としては、i線ランプから、又はKrF、ArFさらにはF2といったエキシマレーザー等からの光が利用されている。

【0005】投影光学系の高NA化についてはNA0.6から0.65へさらにはNA0.7へとより高NA化へ進みつつある。

【0006】収差補正ではレチクルやウエハの反りによる像歪みを軽減するために両側テレセントリックを形成しつつも、投影光学系に起因するディストーションを極力小さくすると同時に、各像高における最良像点の像面幅（像面湾曲量）も最小にし、しかも各像高におけるコントラストゲインもできるだけ均一になるようにして

いる。

【0007】また、半導体素子製造時には種々のレチクルパターンや線幅に対し、最良パターン像になるように照明条件を種々と変更して露光を行うが、このとき各照明条件間での、ディストーションの格差、像面平坦性等を最小にする為に、各像高においてコマ収差を極力小さくし、像面を一致させるようにしている。

【0008】この他、投影露光装置として重要な要素となっているスループットを向上させる為に、チップサイズの大形化がなされてきており、このため 投影光学系の露光領域の拡大もなされている。

【0009】投影露光装置に用いられる投影光学系として、すべてのレンズ系が球面で構成された投影光学系が、例えば特開平9-105861号公報、特開平10-48517号公報、特開平10-79345号公報等にて提案されている。

【0010】又、非球面を用いて収差を補正させている投影光学系が、例えば特公平7-48089号公報、特開平7-128592号公報、特開平8-179204号公報、特開平5-34593号公報、特開平10-197791号公報、特開平10-154657号公報、特開平10-325922号公報、特開平10-333030号公報、特開平11-6957号公報等にて提案されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】投影光学系において露光波長の短波長化、高NA化を行い、しかも比較的広い露光領域を確保しつつ、各照明モードにわたり性能変化が少なく、高い光学性能を得るには各レンズ群の屈折力やレンズ構成を適切に設定する必要がある。

【0012】一般に、性能変化が少なく高い光学性能を得るには、例えば各レンズ群の屈折力を小さくして各レンズ群で発生する収差量を小さくするか、各レンズ群のレンズ枚数を増加させて収差補正上の自由度を増やすことが必要となってくる。

【0013】このため短波長化しつつ高NAでかつ広い露光領域を達成しようとする、どうしてもレンズ共役長（物像間距離）が大きくなったり、レンズ径やレンズ枚数が増加するなどして、レンズ系全体が重厚長大化してくるという問題点が生じてくる。

【0014】こうなると環境変化や組立精度によるレンズの変形による結像性能の劣化という問題も生じてくる。レンズ径が大きくなればなるほどレンズ自身の重力による自重変形も大きくなり、しかもある共役長の制限内で目標性能を達成しようとする、どうしてもレンズ枚数も増加するのでレンズの肉厚が薄くなり、これも自重変形を大きくする。自重変形が大きくなるとレンズ両面の曲率半径が設計値からズレしてしまうので、結像性能が劣化してしまう。また、レンズはメカ金物で保持されるが、加工精度上、厳密にはメカ金物がレンズを均等

に保持することは困難なので、自重変形が大きくなってレンズが光軸に対し非対称に変形してしまうと非対称な収差が発生し結像性能劣化の要因となってしまう。

【0015】さらに設計性能に関するものとしては、線幅（パターン線幅）によるベスト像面位置の変化、各像高による像点位置の変化やコントラスト変化、各照明条件間でのディストーションの変化や像面平坦性の変化、等が問題になってくる。

【0016】線幅によるベスト像面位置の変化は、主に補正しきれていない残存球面収差が起因している。各像高による像点位置の変化やコントラスト変化は、各像高でのサジタル、メリディオナル像面の変化や非点収差、コマ収差の変化に起因している。各照明条件間でのディストーションの変化や像面平坦性の変化は、ディストーションの残存量や各照明条件の瞳上の光線通過領域内での収差量に起因している。これら収差変化は短波長化、高NA化、広い露光領域の確保、等を追求すればするほど顕著になってくる。

【0017】また、光源の波長が上記エキシマの領域においては、使用可能なレンズ材料が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものであり、従来のようにレンズ構成枚数が多く全硝材厚が大きい光学系では、ウェハー上での光露光量が低下するためスループットが低下してしまうし、レンズの熱吸収による焦点位置の変動、収差変動などの問題が生じてきてしまう。

【0018】特に近年、半導体素子の高集積化という業界動向により、露光光のさらなる短波長化、投影光学系のさらなる高NA化等の要望があるが、レンズ全系の重厚長大化と自重変形の発生を抑制しつつも、目標の光学性能を達成するのは非常に困難になってきており、レンズ共役長を大きくすることでレンズ群の屈折力を小さくして、レンズ枚数を増加させて設計の最適化を行っている。

【0019】しかしながら、最近では投影光学系の収差補正及び結像性能のさらなる改善が望まれている。

【0020】特開平9-105861号公報、特開平10-48517号公報、特開平10-79345号公報は、すべてのレンズが球面であり、レンズ枚数が27～30枚の構成であり、NAは0.6程度である。

【0021】この状態で高NA化を達成しようとする、と、レンズ枚数を現状維持とした場合は収差補正が相当困難になり、さもなくばレンズ全長を大きくしなければならずレンズ径も大きくなってしまう。レンズ枚数をさらに増加させて収差補正を試みるとしても、レンズを追加するスペースがほとんどないため、個々のレンズ厚を小さくするか、さもなくばやはりレンズ全長を大きくしなければならない。

【0022】いずれにしても、前述した自重変形が増大し、レンズ全系も大型化してしまう。加えて光源が短波

長領域においては、レンズ材料による吸収が大きくなるために透過率が低下してくるが、レンズ構成枚数が多い光学系では、ウェハー上での光露光量がさらに低下してしまうのでスループットも低下してしまうし、レンズの熱吸収による焦点位置の変動、収差変動なども増大してしまう。

【0023】特公平7-048089号公報、特開平7-128592号公報は、NAが小さく露光領域も小さい光学系になっている。凹レンズ群（負レンズ群）のパワーも小さいのでベッツパール和の補正には不利な光学系であり、高NA化、露光領域の拡大を図ろうにも特に像面湾曲が悪化してしまう。また共に物体側がテレセントリックでないため、レチクルの湾曲により像歪みが発生してしまう。

【0024】特開平8-179204号公報は、第5、6実施例で共にウェハー側の最終面に非球面が施してあるが、非球面に関して特に説明はない。結像性能としては歪曲収差と像面湾曲、非点収差の補正が十分ではなく、歪曲収差が各々最大26.7nm、11.7nm、最軸外の非点収差が各々1.262 μ m、0.896 μ mと大きな値となっている。

【0025】特開平5-34593号公報は、非球面を用いて、レンズの透過率を確保するため少ない枚数で構成し収差補正をしているが、解像力に寄与するNAは0.45と小さく露光領域も10×10～15×15と小さいレンズ系となっている。そして記述されているように、負の第2群と正の第4群に非球面を導入することにより、主に球面収差を補正している。ベッツパール和を補正するため、負の第2群のパワーを強くしつつも、他の正のレンズ群とのバランスにおいて球面収差を補正するために第2群に非球面を施しているのである。また球面収差を補正するために軸上光束径が大きい第4群にも非球面を施している。

【0026】しかしながら、第2群の軸上マージナル光線高は第3、4群に比較するとかなり低く、非球面を導入し効果的に球面収差を補正するのが難しい。（3次の球面収差係数は軸上マージナル光線高hの4乗に比例するから）。

【0027】第2群の最軸外主光線高も低く、ほとんど光軸付近を通っているため、非球面により、物体側テレセントリック性を確保しつつディストーションや像面湾曲、非点収差を補正するとしても寄与が小さい（3次の非点収差係数、像面湾曲係数は主光線高の2乗に、歪曲収差係数は主光線高の3乗に比例するから）。

【0028】この従来例では高NA化（NA0.65程度）や露光領域の拡大（ ϕ 27.3mm程度）に対応しようとしても、まず負のパワーの大半を担っている第2群のパワーが小さいのでベッツパール和を補正できずに像面湾曲、非点収差が悪化してしまう。加えて高NA化により物体側の光束が大きくなってくると、物体側テレ

セントリック性、ディストーション、像面湾曲の補正を主としている物体側の正の第1群、負の第2群が各々レンズ1枚だけで構成されているので、それらのレンズ群の収差補正の負担が激増し、良好な結像性能を達成することが困難になる。

【0029】特開平10-197791号公報は、少ないレンズ枚数ながら広い露光領域と高解像力を確保している。露光領域は ϕ 25～ ϕ 29mmであるが、NAは0.48～0.50である。

【0030】特開平10-154657号公報は、レンズ系に非球面レンズを構成しているが、この非球面は、記述されているように、ある所望の仕様を持つ投影光学系を実現するために、設計時に積極的に収差を補正するために導入された非球面とは異なり、複数の光学部材を用いて投影光学系を組み立てて製造する、例えば組み立て調整した際に、光学部品自体の製造誤差並びに投影光学系の調整誤差等により除去困難な残存する高次の収差を補正しているものである。

【0031】すなわち、光学設計は、すべて球面系で行っているため、非球面により製造誤差を補正したとしても、製品としては球面系の設計値以上の性能は達成できない（このため非球面量は非常に小さくなっている）。したがって、このまま高NA化に対応しようとしても前述した課題を解決するのは、非常に困難である。

【0032】特開平10-325922号公報は、本文中の説明によれば、投影光学系を5つのレンズ群で構成し、第1レンズ群か第2レンズ群のどちらか一方に1つの非球面、第4レンズ群か第5レンズ群のどちらか一方に1つの非球面、を使用することにより、少ない構成枚数で、主に歪曲収差と球面収差を補正している。

【0033】実施例はNA0.6であり、しかも第4レンズ群に非球面を使用した実施例はなく、収差的には像面湾曲、非点収差は比較的良好に補正されているものの球面収差の高次成分が大きくアンダーに発生しており、歪曲収差も最大像高で30nm程度となっている。

【0034】この提案では非球面使用による収差補正効果の大きい面に非球面を用いるとはあるがそれ以上の詳細な説明はない。したがって、さらなる高NA化に対応しようとする、収差が悪化してくる傾向がある。

【0035】またレンズ枚数を増やすことにより補正自由度を増加させて対応しようとしても、像面側には比較的空間が残っているので球面収差は補正できても、物体側の第1群から第3群にかけては、レンズが密に連続しており、レンズを新たに追加する空間がないので、像面湾曲、非点収差、歪曲収差等の補正が困難になる。レンズの中心厚を小さくして追加すると今度は前述した自重変形が生じてしまう。

【0036】特開平10-333030号公報は、非球面を用いて15枚程度という少ないレンズ枚数ながら、NA0.63～0.75と露光領域 ϕ 27～30mmを

達成している。説明によれば、レンズ構成を正群からなる2群構成とし、ウェハー側の第1群を顕微鏡対物レンズ、レチクル側の第2群をガウス型レンズとすることで各群にて発生するサジタルコマを相互に打ち消すという構想のもと、ウェハー側の第1群に少なくとも1面の非球面を導入しコマ収差を補正し、第2群の有効径の大きい面にも非球面を導入し球面収差を補正している。

【0037】しかしながら、該公報にはサジタルコマに関しては不図示であり、補正状況がわからない。本出願人がデータを入力し再現したところ、横収差においてメリディオナルのコマ収差、サジタルハロ等の像高による変化が大きかった。

【0038】また球面収差、非点収差は良好に補正されているものの、歪曲収差については特に高次成分が大きく残存しており、最大値が第1実施例から第4実施例にかけて順に、12nm、45nm、26nm、46nmとなっている。ウェハー側のテレセントリック性については、第1実施例から第4実施例にかけて順に焦点深度1μmあたりの像高変化が、24nm、22nm、19nm、9nmである。

【0039】さらに、ウェハーからレンズまでの距離が、11~12mmと短いため、オートフォーカス等の機構装置との干渉の可能性が大きい。

【0040】特開平11-6957号公報は、非球面を用いて主に高NA化(NA0.75~0.80)を達成している。説明によれば、主たる構成として第4レンズ群または第5レンズ群が少なくとも1面の非球面を含むことにより、高NA化への影響が大きい収差、すなわちサジタルコマ収差、高次の球面収差を補正している。

【0041】しかしながら、実施例についてみると、サジタルコマについては不図示であり、レンズ構成枚数は27~29枚、光学共役長は1200~1500mmである。

【0042】したがって光源が短波長領域(Arf等)になるとレンズ材料の吸収によりウェハー上での露光量が低下し、スルーputが低下する。又レンズの熱吸収による焦点位置や収差の変動なども増大してくる。また高NAでレンズ共役長も大きいのでレンズ径もφ284

$$|L \times \phi_o| > 17 \quad (\phi_o = \sum \phi_{oi} \quad \phi_{oi} \text{は第} i \text{負群のパワー})$$

$$\dots\dots (1)$$

であり、該非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ としたとき

$$|\Delta ASPH / L| > 1.0 \times 10^{-6} \dots\dots (2)$$

を満足することを特徴としている。

【0049】請求項4の発明は請求項3の発明において、面の中心から周辺部にかけて、互いに局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有する2つの非球面を有することを特徴としている。

【0050】請求項5の発明は請求項4の発明において、前記2つの非球面とは、両面が非球面である非球面レンズの両面であることを特徴としている。

~400mmと大きく、自重変形も増大してくる。レンズ共役長を短縮する、レンズ厚を増加させる、など自重変形を抑制する手段を施すにもスペース的に困難である。

【0043】非球面を利用してレンズ枚数を削減するなどが考えられるが、第1実施例から第5実施例においては非球面数を2面から6面に増加させているものの、すべてレンズ枚数が29枚と同様の構成をしており、また6面という最も多い非球面数を使用している第5実施例においても最軸外像高のサジタル像面が-0.484μと残存しており、歪曲収差が13.1nmであり、高次の球面収差も残存している。

【0044】第6, 7実施例においても歪曲収差がそれぞれ33nm、58nmである。第8, 9実施例ではデータ不備により性能の再現ができないが、レンズ共役長が1500mmと突出して大きい。

【0045】本発明は、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等を良好に補正し、露光領域全般にわたり高い光学性能を有し、高NA化と、広い露光領域を容易に達成することができる投影露光装置の提供を目的とする。

【0046】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の投影露光装置は、レチクル面のパターンを投影光学系で感光基板上に投影露光する投影露光装置において、該投影光学系は両面が非球面の非球面レンズを少なくとも1つ有していることを特徴としている。

【0047】請求項2の発明の投影露光装置は、レチクル面のパターンを投影光学系で感光基板上に投影露光する投影露光装置において、該投影光学系は少なくとも1つの非球面レンズを有し、非球面レンズはすべて両面が非球面であることを特徴としている。

【0048】請求項3の発明は請求項1又は2の発明において、前記投影光学系は正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群からなる複数のレンズ群を有し、該投影光学系の共役長をL、各負レンズ群のパワーの総和を ϕ_o としたとき

【0051】請求項6の発明は請求項3の発明において、前記各レンズ群は両面が非球面である非球面レンズを含んでいることを特徴としている。

【0052】請求項7の発明は請求項3から6のいずれか1項の発明において、

$$|L \times \phi_o| < 70 \quad \dots\dots (1a)$$

$$|\Delta ASPH / L| < 0.02 \quad \dots\dots (2a)$$

を満足することを特徴としている。

【0053】請求項8の発明は請求項1又は2の発明において、前記投影光学系は、正の屈折力のレンズ群と負

の屈折力のレンズ群からなる複数のレンズ群を有し、前記投影光学系の共役長を L 、各負レンズ群のパワーの総和を ϕ_0 としたとき

$$|L \times \phi_0| > 17 \dots\dots (1)$$

であり、軸上マージナル光線の高さを h 、最軸外主光線の高さを h_b としたとき

$$|h_b/h| > 0.35 \dots\dots (3)$$

を満足する面の少なくとも2面を非球面とし、該非球面の非球面量を $\Delta ASPH$ としたとき

$$|\Delta ASPH/L| > 1.0 \times 10^{-6} \dots\dots (2)$$

を満足することを特徴としている。

【0054】請求項9の発明は請求項8の発明において、面の中心から周辺部にかけて、互いに局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有する2つの非球面を有することを特徴としている。

【0055】請求項10の発明は請求項9の発明において、前記2つの非球面とは、両面が非球面である非球面レンズの両面であることを特徴としている。

【0056】請求項11の発明は請求項8の発明において、前記各レンズ群は両面が非球面である非球面レンズを含んでいることを特徴としている。

【0057】請求項12の発明は請求項8から11のいずれか1項の発明において、

$$|L \times \phi_0| < 70 \dots\dots (1a)$$

$$|h_b/h| < 15 \dots\dots (3a)$$

$$|\Delta ASPH/L| < 0.02 \dots\dots (2a)$$

を満足することを特徴としている。

【0058】請求項13の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記投影光学系は物像界で両側テレセントリック系であることを特徴としている。

【0059】請求項14の発明のデバイスの製造方法は、請求項1から13のいずれか1項の投影露光装置を用いてレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0060】

【発明の実施の形態】図1は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例1のレンズ断面図、図2は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例1の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図3は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例1の収差図である。

【0061】図4は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例2のレンズ断面図、図5は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例2の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図6は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例2の収差図である。

【0062】図7は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3のレンズ断面図、図8は本発明の

投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図9は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3の収差図である。

【0063】図10は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4のレンズ断面図、図11は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図12は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4の収差図である。

【0064】図13は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5のレンズ断面図、図14は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図15は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5の収差図である。

【0065】図16は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6のレンズ断面図、図17は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図18は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6の収差図である。

【0066】図19は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7のレンズ断面図、図20は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図21は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7の収差図である。

【0067】図22は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例8のレンズ断面図、図23は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例8の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図24は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例8の収差図である。

【0068】図25は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9のレンズ断面図、図26は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9の非球面の局所曲率パワーの変化の説明図、図27は本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9の収差図である。

【0069】レンズ断面図において、 PL は投影光学系である。 G_i は物体側（距離の長い共役側）から数えた第 i レンズ群（第 i 群）である。

【0070】 IP は像面であり、投影露光装置に用いたときはウエハ面に相当している。第 i 群のうち奇数のレンズ群は屈折力（凸）のレンズ群、偶数のレンズ群は負の屈折力（凹）のレンズ群である。

【0071】レンズ面に付した「○」印は非球面であることを示している。

【0072】図1、図4、図7、図10の数値実施例1

～4は、物体側より順に正、負そして正の屈折力のレンズ群の3つのレンズ群（3群タイプ）より成っている。

【0073】図13、図16、図19の数値実施例5～7は、物体側より順に正、負、正、負そして正の屈折力のレンズ群の5つのレンズ群（5群タイプ）より成っている。

【0074】図22、図25の数値実施例8、9は、物体側より順に正、負、正、負、正、負そして正の屈折力のレンズ群の7つのレンズ群（7群タイプ）より成っている。

【0075】いずれの数値実施例においてもレンズ系全体を適切なパワー分担のもとで、適切な面に非球面を導入することにより良好な光学性能を達成している。

【0076】本発明の投影光学系は、高NA化、広い露光領域を確保している。

【0077】この為に光学系全体を正の屈折力のレンズ群と負の屈折力のレンズ群とを含む、複数のレンズ群より構成し、パワー分担（屈折力分担）を適切に設定している。

【0078】本発明に係る投影光学系では少なくとも1枚のレンズの両面を非球面で構成することにより良好な光学性能を達成している。

【0079】本発明に係る投影光学系は、従来例と比較して高NA化、広い露光領域を確保している。そのうえで、良好な結像性能を得るには収差補正の自由度を格段に向上させる必要がある。そこで少なくとも1枚以上の非球面レンズを用いるとしても、その非球面レンズのうち1枚の非球面レンズの両面を非球面とするか、または使用するすべての非球面レンズの両面を非球面としている。両面非球面レンズと片面非球面レンズの収差補正上の違いは、特に本発明のように収差の高次領域まで良好な補正が要求される投影光学系で顕著になってくる。

【0080】すなわち、すべて球面レンズで構成された投影光学系において、すでに新たなレンズを追加するスペースがない場合には、両面非球面レンズを導入することにより収差補正自由度の大幅な向上が図られ、レンズ枚数を増加させることなく、ひいては減少させることが可能となってくる。

【0081】片面非球面レンズでは片面が球面又は平面であるために、収差の高次領域を補正するとしてもやはり低次の影響を受けやすく全体としてバランスを取らざるを得ないが、両面非球面レンズでは、低次も高次も独立に補正が可能となる。

【0082】さらには、良好な結像性能を得るためにパワー分担に着目している。というのは像面湾曲、非点収差を補正するには、ベッツパールの和を小さくする必要があるが、これは非球面の有無に関わらず光学系のパワー配置で決定されてしまうからである。

【0083】すなわち本発明では、条件（1）式のようにレンズ系の共役長（物像間距離） L と負の屈折力のレ

ンズ群のパワー総和 ϕ_o の積を規定している。一般的に共役長 L が長くなると総和 ϕ_o も小さくなり、逆に共役長 L が短くなると総和 ϕ_o は大きくなる。

【0084】本発明においてはそれらの積が17以上とすることにより、負の屈折力のレンズ群のパワーの総和を大きく設定し、主に像面湾曲、非点収差を良好に補正する手段としている。条件式（1）の下限を越えると、ベッツパールの和が正の方向へ大きくなるため、非球面を用いたとしても像面湾曲、非点収差を良好に補正することが困難になってくる。

【0085】なお非球面の導入を結像性能により効果的に発揮させるには条件（2）式を満足させると良い。条件（2）式は非球面量に関して規定するもので、この下限値を越えると、良好な結像性能を得るために設計的に積極的に非球面を用いたとしても非球面の効果が十分に発揮されなくなる。

【0086】例えば共役長を1000mm、使用波長を193nmとすると条件式（2）から $\Delta ASPH = 0.001$ mmとなりニュートンリング約10本分に相当する。これは投影露光系に用いる非球面としては十分に大きな値である。さらに、より効果的に非球面を使用するには

$$|\Delta ASPH / L| > 1.0 \times 10^{-5}$$

として、非球面量を大きくするとよい。

【0087】条件（3）式は、条件（1）式を規定した上で非球面を導入するに際し、適切な面を規定している。従来から縮小投影光学系においては、テレセントリック性を保ちつつも、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、加えて、メリディオナルとサジタルの横収差を各々良好に補正するのは非常に困難であった。

【0088】というのは、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲、非点収差はどれも光束中心を通る主光線に関する収差量であり、それらの収差等はレンズ系全体を通して主光線高が高い物体側のレンズ配置、レンズ形状に依存しているが、物体上のすべての物点からの主光線に対しテレセントリック性を維持しつつも、歪曲収差、像面湾曲、非点収差を補正するように同じ主光線を屈折させるというのが、相当な困難を伴っていたことによる。

【0089】またレンズ面上でメリディオナルの下側光線は、主光線よりもさらに高い位置で屈折されているため、メリディオナルの横収差とそれら主光線に関する収差とのバランスが難しい。同時に通常は像高が高くなるにつれてアンダー傾向の像面湾曲を補正しようとする、凹レンズで強く屈折させることになるが、そうすると今度は高い像高のサジタルの横収差の周辺部（サジタルハロ）がさらにオーバーに変化してしまい、良好にバランスさせることが難しくなってしまう。

【0090】このような状況で高NA化、広い露光領域の確保は、物体側光束と像高のさらなる拡大を意味し、

収差補正の困難さが増幅されてしまう。

【0091】そこで本発明においては、条件(3)式を満足するように軸外主光線に影響の大きな面を非球面とすることにより、上記の改善されるべき収差を重点的に効果的に補正することにより、他の収差補正の負担を軽減し、良好な光学性能を実現している。

【0092】この条件(3)式の下限を越えると軸外主光線よりも軸上マージナル光線への影響が増大してくるため、上記の改善されるべき収差の補正効果が低減してしまい、高NA化、広い露光領域の確保が難しくなってしまう。

【0093】尚、前述の条件式(1a)～(3a)を満足しないと前述の条件式(1)～(3)と同様に良好なる収差補正が難しくなってくる。

【0094】条件式(1a)の上限を越えると、負屈折力を有する負レンズ群のパワーが大きくなりすぎる為ベッツパル和が補正過剰となり主に像面湾曲、非点収差を良好に補正することが困難になる。

【0095】また、正屈折力を有する正レンズ群のレンズ径が大きくなったり、レンズ枚数が増加してしまう。

【0096】条件式(2a)の上限を越えると、物体面に対してレンズが近づきすぎて作動距離が確保できなくなる。また、投影光学系の倍率が極端に小さい場合には、上記条件式を超えても作動距離は確保できる場合があるが、このように倍率が極端に小さくなる光学系はリソグラフィ用としては実用的ではない。

【0097】条件式(3a)の上限を超えると、非球面量が大きくなりすぎる為レンズの加工時間が増大してしまう。また、非球面にて発生する高次収差が大きくなり収差補正を良好に行なうことが難しくなってしまう場合がある。

【0098】このように本発明によれば、非球面の効果的な導入が可能となるが、好ましくは以下の条件のうち少なくとも1つを満たすことにより、より非球面の効果を増大させることができる。

【0099】(ア-1)前記非球面は少なくとも、面の中心から周辺部にかけて、互いに局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有する2つの非球面を有すること。

【0100】(ア-2)前記2つの非球面とは、両面が非球面である非球面レンズの両面であること。

【0101】(ア-3)各レンズ群は少なくとも1枚の両面が非球面である非球面レンズを含んでいること。

【0102】一般に非球面を用いて収差補正を行う手法としては従来から該当面での収差発生が小さくなるように非球面を導入する方法(補助的導入)が主であった。例えば凸単レンズでは球面収差がアンダーになるので周辺に行くほど曲率が小さくなる非球面を導入し球面収差を補正するなどである。

【0103】これに対し本発明では、レンズ枚数の削減を目標としつつも良好な性能との両立を図るには、他の

面との関係において収差を打ち消すように非球面を導入する方法(積極的導入)を提案し収差を巧みに補正している。

【0104】すなわち上記(ア-1)を満足させて2つの非球面パワーの打ち消しの関係を作ることにより、物体からの任意の光束に及ぼす屈折力変化が、球面のみまたは非球面が1面の場合には生成できない、複数の収差が同時に最小となることを可能とするような屈折力変化を与えることが容易となるのである。補正が困難な高次の収差補正、例えば、高次領域の歪曲収差や像面湾曲、非点収差、サジタル横収差、メリディオナル横収差はこの(ア-1)の作用により良好に補正されている。

【0105】しかしながら、非球面が施された1つのレンズに着目してみると、片面が球面の非球面レンズと両面が非球面の非球面レンズでは非球面の変化が異なってくる。片面が球面の非球面レンズの場合、片面が球面で既定されているため、他の非球面レンズとの打ち消しによって収差をコントロールしたときの径方向の屈折力変化が大きくなる(図28(A):実線の形状が球面、点線の形状が非球面)。

【0106】したがって、レンズ単体としてみると高次の収差がより発生しやすい状況となっている。これはレンズ製造時の偏心に対して、敏感になることを意味する。一方、両面が非球面である非球面レンズの場合、上記(ア-2)を満足させることにより径方向の屈折力変化が大きくなるのを抑制することができる(図28

(B):実線の形状が球面、点線の形状が非球面)。いわば非球面同士でのベンディングということもできる。したがって、レンズ単体としてみると、片面が球面の非球面レンズと比較して高次収差の発生を抑制している。ということはレンズ製造時の偏心に対してもより有利となる。

【0107】以上を鑑みて上記(ア-3)を満足させることにより、各レンズ群で発生する収差を抑制しながら(上記非球面の補助的導入の考え方)、非球面パワーの打ち消しを応用すれば、より良好な収差補正が可能となる。

【0108】さらに好ましくは、正の屈折力の第1レンズ群に少なくとも1つの非球面を、負の屈折力の第2レンズ群に少なくとも2つの非球面を構成することにより、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、サジタル横収差、メリディオナル横収差を良好に補正できる。

【0109】このように、本発明に係る投影光学系においては少なくとも両面が非球面である非球面レンズを用いることを主とし、パワー分担を適切に設定し、適正な非球面量を与え、非球面形状を所定の条件を満足させるように規定することにより、両側テレセントリック性を確保しながら、特に歪曲収差、像面湾曲、非点収差を良好に補正し、またそれらを少ないレンズ枚数で投影光学系を実現している。

【0110】次に本発明に係る投影光学系の数値実施例のレンズ構成の特徴について説明する。

【0111】(実施例1) 図1は本発明に係る投影光学系の数値実施例1のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を15枚という少ないレンズ構成により達成している。9面の非球面を用いており、そのうち6面が両面非球面である。

【0112】本発明の条件式の関係諸量を表1に、非球面のパワー変化の様子を図2(縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す)に、収差図を図3に示す。

【0113】数値実施例1において、 $r1 \sim r8$ は正の第1群G1群であり、 $r7$ 、 $r8$ が両面非球面である。 $r9 \sim r14$ は負の第2群G2群であり、 $r9$ 、 $r10$ が両面非球面である。 $r15 \sim r30$ は正の第3群G3群であり、 $r18$ 、 $r21$ 、 $r23$ が片面非球面、 $r29$ 、 $r30$ が両面非球面である。

【0114】本実施例では、表1に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0115】第1群は、負レンズ1枚、正レンズ3枚で構成し、特に $r7$ 、 $r8$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0116】第2群は、負レンズ3枚で構成し、やはり $r9$ 、 $r10$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0117】第3群は、正レンズ7枚、負レンズ1枚で構成している。 $r18$ 、 $r21$ 、 $r23$ の非球面は主に球面収差を補正するため局所曲率パワーが負の方向へ変化していて、 $r29$ 、 $r30$ の両面非球面は主に歪曲収差の低次を補正しており、互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足しているが総和としては局所曲率パワーは正の方向へ変化している。

【0118】なお本実施例の両面非球面レンズは各レンズ群に1枚ずつ使用されていて(ア-3)も満足している。

【0119】これらによって図3に示すように諸収差を良好に補正している。

【0120】(実施例2) 図4は本発明に係る投影光学系の数値実施例2のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=979\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を14枚という少ないレンズ構成により達成している。10面の非球面を用いておりそのすべてが両面非球面である。

【0121】本発明の条件式の関係諸量を表2に、非球面のパワー変化の様子を図5(縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す)に、収差図を図6に示す。

【0122】数値実施例2において、 $r1 \sim r8$ は正の第1群G1群であり、 $r7$ 、 $r8$ が両面非球面である。 $r9 \sim r14$ は負の第2群G2群であり、 $r9$ 、 $r10$ が両面非球面である。 $r15 \sim r28$ 正の第3群G3群であり、 $r17$ 、 $r18$ 、 $r21$ 、 $r22$ 、 $r27$ 、 $r28$ が両面非球面である。

【0123】本実施例では、表2に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0124】第1群は、負レンズ1枚、正レンズ3枚で構成し、特に $r7$ 、 $r8$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0125】第2群は、負レンズ3枚で構成し、やはり $r9$ 、 $r10$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0126】第3群は、正レンズ6枚、負レンズ1枚で構成している。 $r18$ 、 $r21$ 、 $r22$ の非球面は主に球面収差を補正するため局所曲率パワーが負の方向へ変化していて、 $r27$ 、 $r28$ の両面非球面は主に歪曲収差の低次を補正しており、互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有し前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足しているが総和としては局所曲率パワーは正の方向へ変化している。

【0127】なお本実施例の両面非球面レンズは各レンズ群に1枚ずつ使用されていて(ア-3)も満足している。

【0128】これらによって図6に示すように諸収差を良好に補正している。

【0129】(実施例3) 図7は本発明に係る投影光学系の数値実施例3のレンズ断面図であり、基準波長は1

93nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を15枚という少ないレンズ構成により達成している。8面の非球面を用いておりそのうち6面が両面非球面である。

【0130】本発明の条件式の関係諸量を表3に、非球面のパワー変化の様子を図8（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す）に、収差図を図9に示す。

【0131】数値実施例3において、 $r1\sim r8$ は正の第1群G1群であり、 $r7$ 、 $r8$ が両面非球面である。 $r9\sim r14$ は負の第2群G2群であり、 $r9$ 、 $r10$ が両面非球面である。 $r15\sim r30$ 正の第3群G3群であり、 $r18$ 、 $r23$ が片面非球面、 $r29$ 、 $r30$ が両面非球面である。

【0132】本実施例では、表3に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0133】第1群は、負レンズ1枚、正レンズ3枚で構成し、特に $r7$ 、 $r8$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0134】第2群は、負レンズ3枚で構成し、やはり $r9$ 、 $r10$ の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0135】第3群は、正レンズ7枚、負レンズ1枚で構成している。 $r18$ 、 $r23$ の非球面は主に球面収差を補正するため局所曲率パワーが負の方向へ変化していて、 $r29$ 、 $r30$ の両面非球面は主に歪曲収差の低次を補正しており、特に $r29$ は周辺部分で局所曲率パワーが正の方向へ変化している。

【0136】なお本実施例の両面非球面レンズは各レンズ群に1枚ずつ使用されていて(ア-3)も満足している。

【0137】これらによって図9に示すように諸収差を良好に補正している。

【0138】(実施例4)図10は本発明に係る投影光学系の数値実施例4のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を13枚という少ないレンズ構成により達成している。6面の非球面を用いておりそのうち2面が

両面非球面である。

【0139】本発明の条件式の関係諸量を表4に、非球面のパワー変化の様子を図11（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す）に、収差図を図12に示す。

【0140】数値実施例4において、 $r1\sim r8$ は正の第1群G1群であり、 $r2$ 、 $r5$ が片面非球面である。 $r9\sim r14$ は負の第2群G2群であり、 $r10$ が片面非球面、 $r11$ 、 $r12$ が両面非球面である。 $r15\sim r26$ は正の第3群群G3であり、 $r19$ が片面非球面である。

【0141】本実施例では、表4に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の片面非球面、第2群に1面の片面非球面と2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0142】第1群は、負レンズ1枚、正レンズ3枚で構成し、 $r2$ 、 $r5$ の非球面は局所曲率パワーは正の方向へ変化している。

【0143】第2群は、負レンズ3枚で構成しているが、像面湾曲や歪曲収差等の高次成分を補正するため、 $r10$ と $r11$ 、 $r10$ と $r12$ の非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有しており前述の(ア-1)の作用を満足しているが、両面非球面としての $r11$ 、 $r12$ は中心部分では若干の逆符号の領域を有し、周辺部分では正への同方向となっている。また $r10$ と第1群の $r5$ との関係では互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号の領域を有しており前述の(ア-1)の作用を満足しており、テレセントリック性、歪曲収差等の補正に有効となっている。

【0144】第3群は、正レンズ5枚、負レンズ1枚で構成している。 $r19$ の1面のみが非球面であり、主に球面収差を補正するため局所曲率パワーが負の方向へ変化している。

【0145】これらによって図22に示すように諸収差を良好に補正している。

【0146】(実施例5)図13は本発明に係る投影光学系の数値実施例5のレンズ断面図であり、基準波長は248nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1050\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を24枚という5群構成タイプとしては少ないレンズ構成により達成している。7面の非球面を用いておりそのうち4面が両面非球面である。

【0147】本発明の条件式の関係諸量を表5に、非球面のパワー変化の様子を図14（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号

で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す)に、収差図を図15に示す。

【0148】数値実施例5において、 $r_1 \sim r_6$ は正の第1群G1群であり、 r_3 、 r_4 が両面非球面である。 $r_7 \sim r_{14}$ は負の第2群G2群であり、 r_9 、 r_{10} が両面非球面である。 $r_{15} \sim r_{26}$ は正の第3群G3群であり、 r_{20} が片面非球面である。 $r_{27} \sim r_{30}$ は負の第4群G4群であり、すべて球面である。 $r_{31} \sim r_{48}$ は正の第5群G5群であり、 r_{35} 、 r_{47} が片面非球面である。

【0149】本実施例では、表5に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0150】第1群は、正レンズ3枚で構成し、特に r_3 、 r_4 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0151】第2群は、負レンズ4枚で構成し、やはり r_9 、 r_{10} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0152】第3群は、正レンズ5枚、負レンズ1枚で構成している。 r_{20} の非球面は球面収差等を補正するように局所曲率パワーが負の方向へ変化している。

【0153】第4群は、負レンズ2枚で構成しており、主にベッツバル和の補正をしている。

【0154】第5群は、正レンズ8枚、負レンズ1枚で構成している。 r_{35} の非球面は主に球面収差を補正するように局所曲率パワーが負の方向へ変化している。 r_{47} の非球面は局所曲率パワーが正の方向へ変化している領域を有しており、歪曲収差等を補正している。

【0155】これらによって図15に示すように諸収差を良好に補正している。

【0156】(実施例6)図16は本発明に係る投影光学系の数値実施例6のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta = 1/4$ 、レンズ共役長 $L = 1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を16枚という5群構成タイプとしては非常に少ないレンズ構成により達成している。12面の非球面を用いておりそのすべてが両面非球面である。

【0157】本発明の条件式の関係諸量を表6に、非球面のパワー変化の様子を図17(縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す)に、収差図を図18に示す。

【0158】数値実施例6において、 $r_1 \sim r_4$ は正の第1群G1群であり、 r_3 、 r_4 が両面非球面である。 $r_5 \sim r_{10}$ は負の第2群G2群であり、 r_9 、 r_{10} が両面非球面である。 $r_{11} \sim r_{16}$ は正の第3群G3群であり、 r_{13} 、 r_{14} が両面非球面である。 $r_{17} \sim r_{20}$ は負の第4群G4群であり、 r_{19} 、 r_{20} が両面非球面である。 $r_{21} \sim r_{32}$ は正の第5群G5群であり、 r_{25} 、 r_{26} が両面非球面である。

【0159】本実施例では、表6に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0160】第1群は、正レンズ2枚で構成し、特に r_3 、 r_4 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0161】第2群は、負レンズ3枚で構成し、やはり r_9 、 r_{10} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足している。

【0162】第3群は、正レンズ3枚で構成し、 r_{13} 、 r_{14} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足しているが、総和としては負の方向が残存し、球面収差等を補正している。

【0163】第4群は、負レンズ2枚で構成しており、 r_{19} 、 r_{20} の両面非球面は共に局所曲率パワーの変化が正の方向となっている。これによりこの群自身で発生させる発散作用を打ち消しているのである。

【0164】第5群は、正レンズ5枚、負レンズ1枚で構成している。 r_{21} 、 r_{21} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の(ア-1)、(ア-2)の作用を満足しているが、総和としては負の方向が残存し、球面収差等を補正している。 r_{25} 、 r_{26} の両面非球面は共に局所曲率パワーの変化が負の方向となっており、やはり主に球面収差を補正している。また正レンズ5枚のうち4枚は蛍石($n = 1.5014$)を材料としており、色収差も考慮している。

【0165】なお本実施例の両面非球面レンズは各レンズ群に1枚ずつ使用されていて(ア-3)も満足している。

【0166】これらによって図28に示すように諸収差を良好に補正している。

【0167】(実施例7)図19は本発明に係る投影光

光学系の数値実施例7のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を13枚という5群構成タイプとしては驚異的に少ないレンズ構成により達成している。12面の非球面を用いておりそのすべてが両面非球面である。

【0168】本発明の条件式の関係諸量を表7に、非球面のパワー変化の様子を図20（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す）に、収差図を図21に示す。

【0169】数値実施例7において、 $r_1 \sim r_2$ は正の第1群G1群であり、 r_1 、 r_2 が両面非球面である。 $r_3 \sim r_8$ は負の第2群G2群であり、 r_5 、 r_6 が両面非球面である。 $r_9 \sim r_{14}$ は正の第3群G3群であり、 r_{11} 、 r_{12} が両面非球面である。 $r_{15} \sim r_{18}$ は負の第4群G4群であり、 r_{15} 、 r_{16} が両面非球面である。 $r_{19} \sim r_{26}$ は正の第5群G5群であり、 r_{21} 、 r_{22} と r_{25} 、 r_{26} が両面非球面である。

【0170】本実施例では、表7に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0171】第1群は、正レンズ1枚で構成し、 r_1 、 r_2 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（ア-1）、（ア-2）の作用を満足しており、総和としては正方向のパワー変化が残存している。

【0172】第2群は、正レンズ1枚、負レンズ2枚で構成し、やはり r_5 、 r_6 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（ア-1）、（ア-2）の作用を満足しており、総和としては負方向のパワー変化が残存し、第1群と打ち消しの関係となっている点においても（ア-1）の作用を満足している。

【0173】第3群は、正レンズ3枚で構成し、 r_{11} 、 r_{12} の両面非球面は共に局所曲率パワーの変化が負の方向となっている領域を有しており、球面収差等を補正している。

【0174】第4群は、負レンズ2枚で構成しており、 r_{15} 、 r_{16} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（ア-1）、（ア-2）の作用を満足しており、総和としては負へのパワー変化が残存しており球面収差等を補正する方向となっている。

【0175】第5群は、正レンズ4枚で構成している。

r_{21} 、 r_{21} の両面非球面は共に局所曲率パワーの変化が負の方向となっている領域を有しており、球面収差等を補正している。 r_{25} 、 r_{26} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっており前述の（ア-1）、（ア-2）の作用を満足しており、歪曲収差やコマ収差等を補正している。

【0176】なお本実施例の両面非球面レンズは各レンズ群に1枚ずつ使用されていて（ア-3）も満足している。

【0177】これらによって図21に示すように諸収差を良好に補正している。

【0178】（実施例8）図22は本発明の数値実施例8のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を19枚という7群構成タイプとしては少ないレンズ構成により達成している。9面の非球面を用いておりそのうち6面が両面非球面である。

【0179】本発明の条件式の関係諸量を表8に、非球面のパワー変化の様子を図23（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す）に、収差図を図24に示す。

【0180】数値実施例8において、 $r_1 \sim r_4$ は正の第1群G1群であり、 r_3 が片面非球面である。 $r_5 \sim r_8$ は負の第2群G2群であり、 r_5 、 r_6 が両面非球面である。 $r_9 \sim r_{12}$ は正の第3群G3群であり、 r_{11} が片面非球面である。 $r_{13} \sim r_{18}$ は負の第4群G4群であり、すべて球面である。 $r_{19} \sim r_{24}$ は正の第5群G5群であり、 r_{22} が片面非球面である。 $r_{25} \sim r_{28}$ は負の第6群G6群であり、すべて球面である。 $r_{29} \sim r_{38}$ は正の第5群G7群であり、 r_{31} 、 r_{32} と r_{37} 、 r_{38} が両面非球面である。

【0181】本実施例では、表8に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式(1)を満足させ、そして条件式(2)を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に1面の非球面、第2群に2面の両面非球面、第3群に1面の非球面を用いて、条件式(3)を満足させ、テレセントリック性、歪曲収差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0182】第1群は、正レンズ2枚で構成し、 r_3 の非球面は局所曲率パワーの変化が正の方向となっている。

【0183】第2群は、負レンズ2枚で構成し、 r_5 、 r_6 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（ア-1）、（ア-2）の作用を満足しており、総和としては負方向のパワー変化が残存し、第1群と打ち消しの関係となっている点においても（ア-1）の作用を満足している。

【0184】第3群は、正レンズ2枚で構成し、 r_{11} の非球面は局所曲率パワーの変化が正の方向となっている領域を有しており、メリディオナルやサジタルの横収差の補正に有効となっている。また第2群の r_5 と打ち消しの関係となっている点において（アー1）の作用を満足している。

【0185】第4群は、負レンズ3枚で構成しており、主にベッツバル和を補正している。

【0186】第5群は、正レンズ3枚で構成している。 r_{22} の非球面は局所曲率パワーの変化が負の方向となっており、球面収差等を補正している。

【0187】第6群は、負レンズ2枚で構成しており、主にベッツバル和を補正している。

【0188】第7群は、正レンズ5枚で構成している。 r_{31} 、 r_{32} の両面非球面は共に局所曲率パワーの変化が負の方向となっており、主に球面収差等を補正している。 r_{37} 、 r_{38} の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっており前述の（アー1）、（アー2）の作用を満足しており、歪曲収差やコマ収差等を補正している。

【0189】これらによって図24に示すように諸収差を良好に補正している。

【0190】（実施例9）図25は本発明に係る投影光学系の数値実施例9のレンズ断面図であり、基準波長は193nm、NA0.65、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1000\text{mm}$ 、露光領域の直径 $\phi 27.3\text{mm}$ の光学系を17枚という7群構成タイプとしては少ないレンズ構成により達成している。8面の非球面を用いておりそのすべてが両面非球面である。

【0191】本発明の条件式の関係諸量を表9に、非球面のパワー変化の様子を図26（縦軸は非球面の光軸からの高さを有効径で正規化した値、横軸は非球面番号で、左右方向はそれぞれ局所曲率パワーの変化が負正の方向を示す）に、収差図を図27に示す。

【0192】数値実施例9において、 $r_1 \sim r_2$ は正の第1群G1群であり、 r_1 、 r_2 が両面非球面である。 $r_3 \sim r_4$ は負の第2群G2群であり、 r_3 、 r_4 が両面非球面である。 $r_5 \sim r_8$ は正の第3群G3群であり、すべて球面である。 $r_9 \sim r_{12}$ は負の第4群G4群であり、 r_9 、 r_{10} が両面非球面である。 $r_{13} \sim r_{16}$ は正の第5群G5群であり、すべて球面である。 $r_{17} \sim r_{20}$ は負の第6群G6群であり、すべて球面である。 $r_{21} \sim r_{34}$ は正の第5群G7群であり、 r_{33} 、 r_{34} が両面非球面である。

【0193】本実施例では、表9に示すように、まずベッツバル和の補正のため条件式（1）を満足させ、そして条件式（2）を満足することで非球面を有効に活用しており、特に第1群に2面の両面非球面、第2群に2面の両面非球面、第4群に2面の両面非球面を用いて、条件式（3）を満足させ、テレセントリック性、歪曲収

差、像面湾曲等を良好に補正している。

【0194】第1群は、正レンズ1枚で構成し、 r_1 、 r_2 の両面非球面は互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（アー1）、（アー2）の作用を満足しており、総和としては正方向のパワー変化が残存している。

【0195】第2群は、負レンズ1枚で構成し、 r_3 、 r_4 の両面非球面は周辺部分で互いに打ち消すように局所曲率パワーの変化が逆符号となっている領域を有しており前述の（アー1）、（アー2）の作用を満足しているが、総和としては負方向のパワー変化が残存し、第1群と打ち消しの関係となっている点においても（アー1）の作用を満足している。

【0196】第3群は、正レンズ2枚で構成し、メリディオナルやサジタルの横収差の補正に有効となっている。

【0197】第4群は、負レンズ2枚で構成しており、 r_9 、 r_{10} の両面非球面は最周辺部で若干打ち消し関係にあるが、総和としては正方向のパワー変化が残存しており、この群自体の発散作用を打ち消すように補正している。

【0198】第5群は、正レンズ2枚で構成している。

【0199】第6群は、負レンズ2枚で構成しており、主にベッツバル和を補正している。

【0200】第7群は、正レンズ6枚、負レンズ1枚で構成している。 r_{33} 、 r_{34} の両面非球面は周辺部において局所曲率パワーの変化が逆符号となっており、前述の（アー1）、（アー2）の作用を満足しているが、総和としては負方向のパワー変化が大きく残存しており、歪曲収差やコマ収差、球面収差等を補正している。

【0201】これらによって図27に示すように諸収差を良好に補正している。

【0202】なお、以上の数値実施例において、非球面形状に関する円錐定数 k をゼロとしている実施例があるが、円錐定数 k を変数にとって設計しても構わない。

【0203】さらに、すべての硝材を石英（ $n=1.5602$ ）で構成した実施例もあるが、蛍石を用いても構わない。すなわち蛍石と石英を両方とも用いることで色収差をより小さく補正することが可能になる。

【0204】さらに、今回は露光光源として193nmのArf波長、248nmのKrf波長を用いたが、レンズタイプにとらわれず250nm以下の波長であればよい。例えばF2レーザー波長でも構わない。また、光学系の投影倍率は、本実施例にあるような $1/4$ 倍に限定されずに $1/5$ 倍等他の倍率の場合でも構わない。

【0205】以下に、上記の数値実施形態の構成諸元を示す。数値実施形態において、 r_i は物体側より順に第 i 番目のレンズ面の曲率半径、 d_i は物体側より順に第 i 番目のレンズ厚及び空気間隔、 n_i は物体側より順に第 i 番目のレンズのガラスの屈折率を示すものである。

【0206】また、非球面の形状は次式、

【数1】

【0207】

$$X = \frac{H^2 / r_1}{1 + \left(1 - (1 + k) \cdot \left(\frac{H}{r_1} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

【0208】にて与えられるものとする。ここにXはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、nは曲率半径、kは円錐定数、A、……Gは非球面係数である。尚、露光波長193nmに対する合成石英と蛍石の屈折率は各々1.5602, 1.5014である。

【0209】また、本文中の非球面の局所曲率パワーPは上記非球面の式XをHの関数X(H)として次式で

与えられる。

【0210】 $PH = (N' - N) / \rho$ ただし、 $\rho = (1 + X'^2)^{3/2} / X''$

N, N' はそれぞれ屈折面の前後の媒質の屈折率である。又前述の各条件式と数値実施例との関係を表1～表9に示す。

【0211】

【外1】

数値実施例 1

i	ri	di	ni	Obj-distance= 76.862
1	0.000	11.653	1.56020	
2	279.569	18.972		
3	-2622.804	21.246	1.56020	
4	-246.200	1.501		
5	334.793	35.026	1.56020	
6	-216.223	2.884		
ASP 7	187.902	30.803	1.56020	
ASP 8	226.893	60.089		
ASP 9	-363.644	9.310	1.56020	
ASP 10	146.273	69.247		
11	-69.852	9.310	1.56020	
12	-2270.363	24.833		
13	-99.616	10.344	1.56020	
14	-944.909	19.845		
15	-2244.324	33.311	1.56020	
16	-216.071	1.001		
17	-4280.619	40.000	1.56020	
ASP 18	-219.092	1.000		
19	618.763	39.293	1.56020	
20	-438.165	191.745		
ASP 21	293.474	49.892	1.56020	
22	7080.234	12.874		
ASP 23	268.232	36.978	1.56020	
24	10845.650	11.212		
25	202.627	31.642	1.56020	
26	570.370	2.341		
27	189.128	46.339	1.56020	
28	104.346	22.351		
ASP 29	186.597	25.796	1.56020	
ASP 30	-3797.323			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
7	0.000000e+000	2.689079e-008	-5.292149e-013	1.962342e-017	2.767038e-020
8	0.000000e+000	-6.588227e-009	-6.091242e-012	-9.308520e-017	1.893655e-019
9	0.000000e+000	-3.950276e-008	1.205981e-011	5.668382e-015	1.183230e-019
10	0.000000e+000	-6.257472e-008	1.521126e-011	5.823880e-015	1.753969e-019
18	0.000000e+000	2.091086e-008	4.059984e-013	4.107056e-018	4.476865e-023
21	0.000000e+000	-3.374304e-009	-6.446443e-013	5.223545e-018	-2.024836e-022
23	0.000000e+000	-2.358414e-008	3.158521e-013	1.026597e-018	-3.097409e-023
29	0.000000e+000	3.743760e-008	4.267460e-012	-2.178983e-016	1.249910e-019
30	0.000000e+000	7.790003e-009	7.967693e-013	-2.008497e-016	1.636728e-020
i	E	F	G		
7	3.787953e-024	1.184106e-028	0.000000e+000		
8	6.022855e-024	0.000000e+000	0.000000e+000		
9	-7.189714e-023	0.000000e+000	0.000000e+000		
10	-7.106786e-023	1.589341e-026	0.000000e+000		
18	-5.385298e-027	1.570188e-031	0.000000e+000		
21	3.514887e-027	6.967802e-033	0.000000e+000		
23	-3.613855e-027	-3.554710e-032	0.000000e+000		
29	-2.330996e-023	2.649642e-027	0.000000e+000		
30	4.394385e-024	0.000000e+000	0.000000e+000		

NA = 0.65

 $\beta = 1/4$

L = 1000

【0212】

【外2】

数値実施例2

i	ri	di	ni	Obj-distance= 76.729
1	∞	10.630	1.56020	
2	262.778	21.348		
3	-2352.332	24.105	1.56020	
4	-235.727	3.497		
5	335.785	34.929	1.56020	
6	-219.548	1.210		
ASP 7	174.011	30.803	1.56020	
ASP 8	223.533	58.374		
ASP 9	-721.643	9.310	1.56020	
ASP 10	117.483	67.811		
11	-72.728	9.310	1.56020	
12	2719.240	25.453		
13	-98.805	10.344	1.56020	
14	-727.917	19.799		
15	-988.788	34.866	1.56020	
16	-181.841	1.000		
ASP 17	-63212.427	38.988	1.56020	
ASP 18	-248.015	1.000		
19	652.250	39.209	1.56020	
20	-381.746	204.164		
ASP 21	237.211	51.746	1.56020	
ASP 22	-534.245	11.973		
23	175.589	33.761	1.56020	
24	457.536	2.163		
25	173.823	45.901	1.56020	
26	104.356	22.473		
ASP 27	183.135	47.090	1.56020	
ASP 28	-18395.030			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
7	0.000000e+000	2.602087e-008	-9.861657e-013	1.543773e-016	3.406696e-020
8	0.000000e+000	-4.956959e-009	-7.864655e-012	3.960131e-016	2.694002e-019
9	0.000000e+000	-9.044863e-008	1.795894e-011	1.168555e-014	-1.916381e-019
10	0.000000e+000	-9.122145e-008	2.638660e-011	1.484569e-014	-3.164586e-019
17	0.000000e+000	-2.313834e-009	4.775923e-013	-1.219135e-017	-8.487183e-022
18	0.000000e+000	1.619892e-008	6.583868e-013	5.134005e-018	-1.010684e-023
21	0.000000e+000	-2.460447e-008	-8.025827e-014	5.851226e-019	-6.974895e-023
22	0.000000e+000	4.392679e-009	1.790428e-013	-3.316430e-018	-7.037122e-023
27	0.000000e+000	6.116374e-009	1.014227e-011	-1.144411e-016	-1.547734e-019
28	0.000000e+000	-3.758336e-008	2.767725e-011	-1.049151e-014	2.230695e-018

i	E	F	G
7	8.828934e-024	6.065203e-029	0.000000e+000
8	8.277960e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
9	-1.939457e-022	0.000000e+000	0.000000e+000
10	1.549810e-022	1.589349e-026	0.000000e+000
17	2.904456e-026	0.000000e+000	0.000000e+000
18	-7.201050e-026	2.156004e-030	0.000000e+000
21	-8.625227e-027	8.632202e-032	0.000000e+000
22	-2.921158e-028	0.000000e+000	0.000000e+000
27	2.856544e-023	-1.501637e-027	0.000000e+000
28	-2.036432e-022	0.000000e+000	0.000000e+000

NA=0.65

 $\beta = 1/4$

L=979

【0213】

【外3】

数値実施例3

i	ri	di	ni	Obj-distance= 94.777
1	-211.935	25.002	1.56020	
2	-274.973	34.686		
3	921.019	19.213	1.56020	
4	-878.587	1.375		
5	310.870	29.825	1.56020	
6	-410.625	1.000		
ASP 7	162.868	29.679	1.56020	
ASP 8	719.157	37.255		
ASP 9	-694.335	8.000	1.56020	
ASP 10	151.022	45.485		
11	-212.339	10.002	1.56020	
12	510.245	34.725		
13	-64.375	8.000	1.56020	
14	278.092	60.268		
15	1463.988	43.610	1.56020	
16	-189.700	1.000		
17	5371.657	28.376	1.56020	
ASP 18	-313.326	3.649		
19	312.645	39.189	1.56020	
20	306.130	112.761		
21	386.134	42.570	1.56020	
22	-1353.684	65.759		
ASP 23	210.713	45.920	1.56020	
24	-7100.101	3.172		
25	161.697	40.777	1.56020	
26	672.543	24.705		
27	-2434.070	10.000	1.56020	
28	257.881	1.113		
ASP 29	203.124	37.891	1.56020	
ASP 30	2059.555			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
7	6.495603e-001	3.625859e-008	1.741255e-013	-1.414452e-017	1.744975e-020
8	0.000000e+000	6.098222e-009	-2.569543e-012	2.225990e-016	8.493683e-020
9	0.000000e+000	-5.435344e-008	1.105804e-011	5.667300e-015	-3.480729e-019
10	8.962335e-001	3.597303e-008	1.251516e-011	5.836732e-015	1.516663e-020
18	2.384810e-001	1.556881e-008	1.578934e-013	-7.371860e-019	1.581607e-022
23	5.623844e-002	-1.320180e-008	-4.292778e-013	-8.709804e-018	-3.927143e-023
29	0.000000e+000	-5.318060e-008	5.315370e-012	4.059718e-016	-3.209372e-020
30	0.000000e+000	-2.730145e-008	6.579062e-012	7.288556e-017	-3.648637e-019

i	E	F	G
7	4.363123e-025	9.563679e-028	-1.965524e-033
8	7.645759e-024	-5.447221e-028	-7.558589e-032
9	-1.501620e-022	3.545450e-028	1.529071e-030
10	-2.368293e-022	1.602413e-026	-1.126581e-029
18	-1.625511e-026	8.891181e-031	-1.806298e-035
23	-6.738671e-027	2.324125e-031	-7.432070e-036
29	-6.309136e-024	1.135376e-027	-5.838246e-032
30	8.493168e-023	-9.227818e-027	4.009184e-031

NA=0.65

 $\beta = 1/4$

L=1000

【0214】

【外4】

数値実施例 4

	i	ri	di	ni	Obj-distance= 70.000
ASP	1	331.609	12.974	1.56020	
	2	156.031	47.241		
	3	-3417.281	32.656	1.56020	
	4	-219.033	86.819		
ASP	5	2758.189	29.031	1.56020	
	6	-294.707	3.350		
	7	120.070	38.675	1.56020	
	8	395.684	54.140		
ASP	9	-178.355	14.201	1.56020	
	10	151.867	27.765		
	11	-146.895	12.480	1.56020	
	12	115.834	26.451		
ASP	13	-199.815	18.463	1.56020	
	14	-338.483	71.912		
	15	-1796.257	46.122	1.56020	
	16	-199.618	1.000		
ASP	17	897.761	38.984	1.56020	
	18	-336.141	126.305		
	19	449.354	36.159	1.56020	
	20	-631.364	1.319		
	21	157.155	57.116	1.56020	
	22	479.020	61.032		
	23	161.193	17.883	1.56020	
	24	87.382	4.283		
	25	74.902	33.541	1.56020	
	26	172.822			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	-5.382248e-008	2.638831e-012	-6.524224e-017	1.220348e-021
5	4.399758e+002	3.582120e-008	1.385894e-012	-2.209416e-017	-2.278720e-021
10	0.000000e+000	1.148743e-007	6.155297e-011	1.916592e-015	4.604460e-019
11	0.000000e+000	9.848384e-009	-9.648560e-012	5.176920e-015	-7.288667e-019
12	0.000000e+000	2.221313e-007	-9.003813e-011	5.273124e-015	2.390446e-019
19	0.000000e+000	-1.174175e-008	-1.353071e-013	-5.557747e-019	-1.875229e-024
i	E	F	G		
2	-4.156347e-025	5.106050e-029	0.000000e+000		
5	-2.871249e-026	2.261849e-030	0.000000e+000		
10	1.154041e-022	1.511505e-027	0.000000e+000		
11	1.515536e-022	0.000000e+000	0.000000e+000		
12	-1.639633e-023	-6.557398e-027	0.000000e+000		
19	-9.258969e-028	-5.568278e-033	0.000000e+000		

$$NA = 0.65$$

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1000$$

【0215】

【外5】

数值	i	ri	di	ni	Obj-distance= 94.486
实施例5	1	317.003	22.211	1.50850	
	2	-355.093	0.100		
ASP3	3	292.157	21.149	1.50850	
ASP4	4	-560.057	0.100		
	5	521.242	20.958	1.50850	
	6	76436.568	14.385		
	7	818.454	16.035	1.50850	
	8	97.900	17.606		
ASP9	9	-1467.092	11.428	1.50850	
ASP10	10	142.710	26.020		
	11	-212.403	11.196	1.50850	
	12	353.410	20.216		
	13	-134.210	11.240	1.50850	
	14	-1002.862	12.039		
	15	-236.025	15.914	1.50850	
	16	-156.795	0.204		
	17	779.273	35.407	1.50850	
	18	-209.072	0.100		
	19	-1786.188	23.880	1.50850	
ASP20	20	-273.517	0.100		
	21	826.670	19.962	1.50850	
	22	-782.423	9.552		
	23	183.291	33.305	1.50850	
	24	864.185	1.121		
	25	189.660	33.969	1.50850	
	26	115.050	59.643		
	27	-247.564	11.800	1.50850	
	28	180.291	32.382		
	29	-141.987	11.800	1.50850	
	30	1634.805	38.291		
	31	-432.625	19.180	1.50850	
	32	-225.869	43.366		
	33	-5580.889	36.257	1.50850	
	34	-251.752	0.100		
ASP35	35	656.210	28.234	1.50850	
	36	-1123.439	11.355		
	37	476.442	32.359	1.50850	
	38	-1813.446	21.067		
	39	285.017	37.448	1.50850	
	40	3204.814	0.415		
	41	153.457	38.178	1.50850	
	42	357.667	0.100		
	43	144.612	27.813	1.50850	
	44	279.653	12.152		
	45	1408.031	15.899	1.50850	NA = 0.65
	46	83.926	28.089		$\beta = 1/4$
ASP47	47	98.536	31.980	1.50850	L = 1050
	48	-5814.320			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
3	-1.467540e+000	-8.951376e-009	-2.285210e-012	3.324945e-016	2.628948e-020
4	0.000000e+000	-5.978443e-009	-1.682938e-012	7.478670e-016	-1.459628e-020
9	0.000000e+000	-2.123929e-008	1.529902e-011	2.095313e-015	-9.109944e-019
10	-2.064869e-001	-1.153015e-008	1.122575e-011	1.126785e-015	-1.300266e-018
20	0.000000e+000	2.186523e-009	9.742324e-014	4.753496e-018	6.448689e-023
35	0.000000e+000	-7.203429e-010	3.483951e-015	-3.090615e-019	-3.685641e-024
47	0.000000e+000	1.133753e-009	-6.956249e-014	3.466240e-016	-9.834080e-022

i	E	F	G
3	4.673713e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
4	4.074521e-024	0.000000e+000	0.000000e+000
9	1.128762e-023	0.000000e+000	0.000000e+000
10	1.052897e-022	0.000000e+000	0.000000e+000
20	8.837182e-027	0.000000e+000	0.000000e+000
35	1.334447e-029	0.000000e+000	0.000000e+000
47	2.247095e-023	0.000000e+000	0.000000e+000

【0216】

【外6】

数值实施例6

	i	ri	di	ni	Obj-distance= 98.214
	1	66506.430	20.534	1.56020	
	2	-200.815	1.000		
ASP	3	247.178	24.228	1.56020	
ASP	4	-1273.958	1.799		
	5	171.546	22.308	1.56020	
	6	98.980	17.896		
	7	1182.942	11.000	1.56020	
	8	159.619	19.222		
ASP	9	-182.740	11.000	1.56020	
ASP	10	207.068	86.213		
	11	500.819	43.015	1.56020	
	12	-240.019	1.000		
ASP	13	319.058	41.291	1.56020	
ASP	14	-366.817	1.000		
	15	229.840	28.376	1.56020	
	16	-8803.339	46.316		
	17	-264.505	11.000	1.56020	
	18	184.159	18.143		
ASP	19	-269.210	11.000	1.56020	
ASP	20	112.292	140.901		
ASP	21	1504.030	27.617	1.50140	
ASP	22	-325.399	1.000		
	23	287.966	37.520	1.50140	
	24	-1646.618	63.842		
ASP	25	291.973	40.105	1.50140	
ASP	26	-599.669	1.000		
	27	178.529	32.020	1.50140	
	28	557.997	1.000		
	29	120.000	47.000	1.56020	
	30	80.443	8.223		
	31	98.682	46.988	1.56020	
	32	164.043			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
3	-2.147054e+000	2.855743e-008	-1.036774e-012	1.275547e-016	4.593414e-020
4	0.000000e+000	1.336794e-008	-1.997714e-012	3.702893e-016	6.224425e-020
9	-2.089679e-001	1.000595e-008	7.735659e-012	1.330938e-015	3.122334e-019
10	1.063518e+000	1.481255e-008	1.699184e-012	5.097592e-016	4.237075e-020
13	-1.680764e+000	-5.776339e-009	-1.148440e-012	-2.490236e-017	-5.242060e-022
14	1.886960e+000	-7.212811e-009	-4.316706e-013	-2.408691e-017	1.071687e-022
19	-3.574249e+000	2.409944e-008	4.315636e-013	-3.840839e-016	1.186363e-019
20	9.429294e-002	-3.335778e-010	-1.425263e-011	-6.427809e-016	9.891739e-020
21	2.184806e+001	1.253508e-009	6.846267e-014	1.221964e-018	3.386655e-023
22	-5.933867e-003	1.096606e-008	1.175524e-013	5.758625e-018	1.039016e-022
25	-3.712593e-001	-8.843267e-009	-4.036554e-013	2.210059e-018	-1.172535e-022
26	-5.741502e+000	1.687149e-010	2.510453e-014	-2.894874e-018	1.807084e-022

i	E	F	G
3	-9.393944e-026	1.747211e-027	0.000000e+000
4	1.068921e-026	1.606181e-027	0.000000e+000
9	-8.189520e-023	5.998644e-027	0.000000e+000
10	-5.874433e-023	6.722456e-027	0.000000e+000
13	-4.318772e-026	1.626810e-030	0.000000e+000
14	1.396749e-026	-1.796726e-030	0.000000e+000
19	1.073154e-023	-1.635891e-027	0.000000e+000
20	3.768240e-024	-1.287764e-027	0.000000e+000
21	-6.771036e-027	9.395056e-032	0.000000e+000
22	-6.969503e-027	-1.902148e-031	0.000000e+000
25	6.340859e-028	-9.453066e-032	0.000000e+000
26	-6.855560e-027	5.347354e-032	0.000000e+000

$$NA = 0.65$$

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1000$$

【0217】

【外7】

数值实施例 7

	i	ri	di	ni	Obj-distance= 70.000
ASP	1	208.834	40.000	1.56020	
	2	-2204.367	48.301		
	3	117.104	40.000	1.56020	
	4	136.645	23.945		
ASP	5	-141.268	10.000	1.56020	
ASP	6	153.903	29.127		
	7	-86.471	22.693	1.56020	
	8	-2380.713	74.228		
	9	13162.964	54.046	1.56020	
	10	-197.958	3.000		
ASP	11	1153.120	60.098	1.56020	
ASP	12	-272.743	3.000		
	13	164.261	55.052	1.56020	
	14	695.660	65.937		
	15	-792.673	18.178	1.56020	
ASP	16	163.351	43.522		
	17	-154.770	10.000	1.56020	
	18	465.852	70.283		
	19	1313.769	39.444	1.56020	
	20	-230.952	3.401		
ASP	21	230.618	41.629	1.56020	
ASP	22	-1095.767	4.457		
	23	162.697	36.856	1.56020	
	24	521.931	56.084		
	25	126.480	36.438	1.56020	
ASP	26	394.895			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	-3.466662e-001	1.433507e-007	-2.133046e-012	5.836183e-017	0.000000e+000
2	2.000000e+000	7.959536e-008	-3.744217e-012	-1.133348e-016	0.000000e+000
5	1.004511e+000	-1.573887e-007	-6.456960e-012	8.518749e-016	0.000000e+000
6	-5.754456e-001	-1.134021e-007	2.106644e-011	-3.105587e-016	0.000000e+000
11	1.323098e+000	-1.227290e-008	1.434144e-013	-4.525546e-018	0.000000e+000
12	1.664589e-001	-1.227018e-009	1.626884e-013	-1.920513e-018	0.000000e+000
15	-2.000000e+000	-5.085760e-008	4.139140e-012	-8.157887e-017	0.000000e+000
16	9.336532e-001	-2.144321e-008	-9.878780e-014	-1.742585e-017	0.000000e+000
21	-3.149396e-001	-2.740779e-009	-2.124860e-013	5.859505e-018	0.000000e+000
22	-4.067584e-001	9.667551e-009	2.056572e-014	4.774158e-018	0.000000e+000
25	-2.127815e-001	-5.135833e-008	-3.003067e-012	-5.838412e-018	0.000000e+000
26	1.283433e-001	-8.510284e-008	6.429230e-012	-1.847620e-016	0.000000e+000
i	E	F	G		
1	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
2	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
5	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
6	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
11	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
12	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
15	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
16	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
21	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
22	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
25	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		
26	0.000000e+000	0.000000e+000	0.000000e+000		

$$NA = 0.65$$

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1000$$

【0218】

【外8】

数値実施例 8

	i	ri	di	ni	Obj-distance= 65.000
	1	-103485.230	17.433	1.56020	
	2	-201.292	0.800		
ASP	3	370.683	17.976	1.56020	
	4	-407.200	30.000		
ASP	5	-456.784	11.000	1.56020	
ASP	6	145.860	16.510		
	7	-503.955	11.000	1.56020	
	8	203.717	34.000		
	9	-424.708	21.358	1.56020	
	10	-129.351	0.800		
ASP	11	801.838	28.215	1.56020	
	12	-175.733	20.000		
	13	159.132	11.676	1.56020	
	14	100.036	23.873		
	15	-515.415	11.000	1.56020	
	16	178.045	27.455		
	17	-115.893	11.000	1.56020	
	18	541.607	40.357		
	19	-1434.439	37.615	1.56020	
	20	-151.851	0.800		
	21	358.551	36.516	1.56020	
ASP	22	-463.136	0.800		
	23	165.301	40.791	1.56020	
	24	1423.496	53.909		
	25	-2299.149	11.000	1.56020	
	26	121.688	38.458		
	27	-170.387	11.000	1.56020	
	28	283.691	43.497		
	29	772.666	47.000	1.56020	
	30	-258.987	35.908		
ASP	31	377.097	34.035	1.56020	
ASP	32	-636.486	0.800		
	33	184.387	37.630	1.56020	
	34	702.528	5.509		
	35	150.000	44.788	1.56020	
	36	253.503	29.946		
ASP	37	99.159	47.000	1.56020	
ASP	38	110.423			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
3	0.000000e+000	2.751774e-008	-1.770975e-012	4.138130e-016	-3.614801e-021
5	0.000000e+000	1.175464e-008	-2.132585e-011	-2.485640e-015	3.535714e-019
6	0.000000e+000	2.045218e-007	-2.001742e-011	-4.217326e-015	-8.965853e-019
11	0.000000e+000	2.891834e-008	4.645221e-012	-1.114191e-017	-3.826417e-020
22	0.000000e+000	1.029482e-009	-2.160423e-014	1.886393e-020	1.290161e-022
31	0.000000e+000	-5.277072e-009	1.078635e-015	3.853875e-018	-9.041445e-023
32	0.000000e+000	1.288563e-010	1.294359e-013	3.817123e-018	1.912098e-024
37	0.000000e+000	4.179479e-009	2.916225e-012	1.437591e-016	1.965878e-019
38	0.000000e+000	2.193704e-007	3.821860e-011	9.758402e-015	3.844117e-018

i	E	F	G
3	4.102479e-024	-7.555172e-028	0.000000e+000
5	9.142663e-023	-1.206849e-026	0.000000e+000
6	4.937104e-022	-4.929568e-026	0.000000e+000
11	1.329561e-024	2.686166e-029	0.000000e+000
22	-6.301310e-027	1.073452e-031	0.000000e+000
31	-2.442106e-026	1.631503e-030	0.000000e+000
32	-2.856921e-026	1.805409e-030	0.000000e+000
37	-4.239874e-023	7.557044e-027	0.000000e+000
38	-1.364150e-021	9.820195e-025	0.000000e+000

NA=0.65

 $\beta = 1/4$

L=1000

【0219】

【外9】

数值实施例 9

	i	ri	di	ni	Obj-distance= 70.000
ASP	1	426.303	22.143	1.56020	
ASP	2	-293.270	44.991		
ASP	3	-239.063	12.287	1.56020	
ASP	4	193.554	56.615		
	5	8175.282	27.396	1.56020	
	6	-172.317	0.700		
	7	485.638	29.517	1.56020	
	8	-226.633	62.198		
ASP	9	-543.539	11.000	1.56020	
ASP	10	98.865	29.468		
	11	-166.560	11.000	1.56020	
	12	579.649	35.061		
	13	804.055	34.406	1.56020	
	14	-152.871	0.700		
	15	163.018	31.782	1.56020	
	16	-1638.880	46.140		
	17	-383.725	11.000	1.56020	
	18	151.783	30.642		
	19	-147.895	15.264	1.56020	
	20	335.023	21.043		
	21	1045.740	35.362	1.56020	
	22	-250.766	9.458		
	23	720.726	25.727	1.56020	
	24	-397.727	94.567		
	25	980.555	34.089	1.56020	
	26	-357.146	0.700		
	27	133.000	50.773	1.56020	
	28	386.552	0.918		
	29	107.997	41.164	1.56020	
	30	169.965	13.455		
	31	539.514	19.429	1.56020	
	32	106.461	0.700		
ASP	33	92.023	41.003	1.56020	
ASP	34	110.938			

$$NA = 0.65$$

$$\beta = 1/4$$

$$L = 1000$$

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	1.179390e-007	-2.481342e-012	-8.514994e-016	-5.507741e-021
2	0.000000e+000	1.984808e-009	-2.379609e-012	-1.277691e-015	2.269844e-019
3	0.000000e+000	-6.127062e-008	-2.439639e-011	4.940348e-015	1.783844e-019
4	0.000000e+000	1.351928e-007	-2.155565e-011	4.979933e-015	-2.254154e-020
9	0.000000e+000	-1.029855e-008	4.222175e-013	9.252409e-016	-3.320195e-020
10	0.000000e+000	-1.647436e-008	-6.863313e-012	2.498019e-016	3.078894e-021
33	0.000000e+000	-7.872670e-008	3.170754e-012	7.552635e-016	1.265430e-018
34	0.000000e+000	5.393494e-007	1.483362e-010	4.549512e-014	5.826949e-017

i	E	F	G
1	4.244235e-023	1.894592e-027	0.000000e+000
2	2.746013e-023	6.870822e-028	0.000000e+000
3	-3.758891e-023	-1.387715e-026	0.000000e+000
4	-1.558011e-022	1.237198e-026	0.000000e+000
9	-2.287173e-023	1.356755e-027	0.000000e+000
10	-4.351537e-023	6.281604e-028	0.000000e+000
33	-3.541330e-022	7.175403e-026	0.000000e+000
34	-4.706812e-020	3.185353e-023	0.000000e+000

【0220】

【表2】

【表1】

【表2】 实施例2

面No.	群No.	hb/h	$\Delta asph/L$
7	1	2.260	0.001205
8	1	1.955	0.000323
9	2	1.057	0.000225
10	2	0.947	0.000096
18	3	0.076	0.005474
21	3	0.072	0.004680
23	3	0.101	0.005630
29	3	0.256	0.000989
30	3	0.303	0.000113

L X ψ = 25.502

面No.	群No.	hb/h	$\Delta asph/L$
7	1	2.216	0.001748
8	1	1.939	0.000180
9	2	1.085	0.000233
10	2	0.971	0.000429
17	3	0.094	0.000127
18	3	0.077	0.004611
21	3	0.093	0.007132
22	3	0.110	0.001873
27	3	0.257	0.000947
28	3	0.387	0.000046

L X ψ = 25.150

【0222】

【0221】

【表3】

【表3】 実施例3

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
7	1	1.868	0.004140
8	1	1.712	0.000568
9	2	1.235	0.000355
10	2	1.123	0.001114
18	3	0.057	0.003483
23	3	0.109	0.006516
29	3	0.214	0.000567
30	3	0.268	0.000155
L×ψo = 26.233			

【0223】

【表4】

【表4】 実施例4

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
2	1	4.249	0.001351
5	1	1.504	0.004555
10	2	0.637	0.001489
11	2	0.423	0.000053
12	2	0.343	0.000258
19	3	0.088	0.003748
L×ψo = 19.551			

【0224】

【表5】

【表5】 実施例5

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
3	1	2.991	0.000317
4	1	2.691	0.000209
9	2	1.387	0.000178
10	2	1.233	0.000040
20	2	0.507	0.000460
35	3	0.042	0.000251
47	5	0.311	0.000072
L×ψo = 30.670			

【0225】

【表6】

【表6】 実施例6

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
3	1	2.870	0.000521
4	1	2.555	0.000844
9	2	1.337	0.000677
10	2	1.212	0.000634
13	3	0.610	0.004305
14	3	0.561	0.002989
19	4	0.267	0.000720
20	4	0.233	0.000588
21	5	0.042	0.000371
22	5	0.061	0.002088
25	5	0.133	0.003329
26	5	0.151	0.000751
L×ψo = 25.020			

【0226】

【表7】

【表7】 実施例7

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
1	1	4.664	0.003187
2	1	3.351	0.001296
5	2	1.028	0.001421
6	2	0.899	0.000531
11	3	0.298	0.003540
12	3	0.282	0.000120
15	4	0.149	0.001508
16	4	0.137	0.000683
21	5	0.081	0.001328
22	5	0.102	0.001908
25	5	0.257	0.001789
26	5	0.330	0.000570
L×ψo = 21.600			

【0227】

【表8】

【表8】 実施例8

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
3	1	4.239	0.000654
5	2	2.512	0.001034
6	2	2.212	0.001059
11	3	1.126	0.001592
22	5	0.258	0.000155
31	7	0.109	0.001030
32	7	0.126	0.000468
37	7	0.277	0.000578
38	7	0.411	0.001395
L×ψo = 34.207			

【0228】

【表9】

【表9】 実施例9

面No.	群No.	hb / h	$\Delta\text{asph}/L$
1	1	4.822	0.002485
2	1	4.040	0.000098
3	2	2.368	0.001695
4	2	2.136	0.001942
9	4	0.719	0.000030
10	4	0.655	0.000473
33	7	0.358	0.000358
34	7	0.590	0.001244
L×ψo = 29.054			

【0229】図29は本発明に係る投影光学系を用いた半導体デバイスの製造システムの要部概略図である。本実施形態はレチクルやフォトリソマスクなどに設けた回路パターンをウエハ（感光基板、第2物体）上に焼き付けて半導体デバイスを製造するものである。システムは大体に投影露光装置、マスクの収納装置、原板の検査装置、コントローラとを有し、これらはクリーンルームに配置されている。

【0230】同図において、1は光源であるエキシマレーザ、2はユニット化された照明光学系であり、これらによって露光位置E・P.にセットされたレチクル（マスク、第1物体）3を上部から所定のNA（開口数）で照明している。909は例えば数値実施例1～9の投影光学系であり、レチクル3上に形成された回路パターン（物体）をシリコン基板などのウエハ7上に投影して焼き付けする。

【0231】900はアライメント系であり、露光動作に先立ってレチクル3とウエハ7とを位置合わせする。

アライメント系 900 は少なくとも 1 つのレチクル観察用顕微鏡系を有している。911 はウエハステージである。以上の各部材によって投影露光装置を構成している。

【0232】914 はマスクの収納装置であり、内部に複数のマスクを収納している。913 はマスク状の異物の有無を検出する検査装置である。この検査装置 913 は選択されたマスクが収納装置 914 から引き出されて露光位置 E. P. にセットされる前にマスク上の異物検査を行っている。

【0233】コントローラ 918 はシステム全体のシーケンスを制御しており、収納装置 914、検査装置 913 の動作指令、並びに投影露光装置の基本動作であるアライメント・露光・ウエハのステップ送り等のシーケンスを制御している。

【0234】以下、本システムを用いた半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0235】図 30 は半導体デバイス（IC や LSI 等の半導体チップ、或いは液晶パネルや CCD 等）の製造フローを示す。

【0236】ステップ 1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ 2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0237】一方、ステップ 3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0238】次のステップ 5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0239】ステップ 6（検査）ではステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

【0240】図 31 は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ 11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0241】ステップ 13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 14（イオン打ちこみ）ではウエハにイオンを打ちこむ。ステップ 15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼き付け露光する。

【0242】ステップ 17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ 18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ 19（レジス

ト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0243】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0244】尚、以上の実施形態の投影露光装置はレチクル 3 上の回路パターンを 1 度でウエハ上に露光する投影露光装置であったが、これに代えてレーザー光源からの光を照明光学系を介してレチクル 3 の一部分に照射し、該レチクル 3 上の回路パターンを投影光学系でウエハ 7 上にレチクル 3 とウエハ 7 の双方を投影光学系の光軸と垂直方向に該投影光学系に対応させて走査して投影・露光する所謂走査型の投影露光装置としても良い。

【0245】

【発明の効果】本発明によれば、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等を良好に補正し、露光領域全般にわたり高い光学性能を有し、高 NA 化と、広い露光領域を容易に達成することができる投影露光装置を達成することができる。

【0246】この他本発明によれば、少なくとも両面が非球面である非球面レンズを用いるとともに、パワー分担を適切に設定し、適正な非球面量を与え、非球面形状を所定の条件を満足させるように規定することにより、レンズ枚数を大幅に削減しながら、高 NA を有し、広い露光領域を有した投影光学系が達成可能となる。従って硝材コストの低減も可能となる。

【0247】又両側テレセントリック性を確保しながら、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等が良好に補正された露光領域全般にわたり高い光学性能を有する投影光学系を達成することができる。

【0248】また、非球面の裏面も非球面なので、限られたスペース内でレンズ枚数を増加させずに、さらに設計の自由度を増加させることができ、良好な収差補正ができると同時に、両面の非球面をベンディング状態にすることにより、製造時の偏心の影響も軽減することができる。

【0249】さらに非球面を導入することによる収差補正上の余裕を各レンズ群の屈折力を強めることやレンズ枚数の減少に振り向ければレンズ系の軽量、コンパクト化も可能となる、等の効果を有した投影光学系を有した投影露光装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例 1 のレンズ断面図

【図 2】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例 1 の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図 3】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例 1 の収差図

【図 4】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数

値実施例2のレンズ断面図

【図5】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例2の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図6】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例2の収差図

【図7】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3のレンズ断面図

【図8】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図9】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例3の収差図

【図10】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4のレンズ断面図

【図11】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図12】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例4の収差図

【図13】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5のレンズ断面図

【図14】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図15】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例5の収差図

【図16】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6のレンズ断面図

【図17】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図18】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例6の収差図

【図19】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7のレンズ断面図

【図20】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図21】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例7の収差図

【図22】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の

数値実施例8のレンズ断面図

【図23】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例8の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図24】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例8の収差図

【図25】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9のレンズ断面図

【図26】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9の非球面の局所曲率パワー変化の説明図

【図27】本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の数値実施例9の収差図

【図28】本発明において非球面を導入するときの光学的作用の説明図

【図29】本発明の半導体デバイスの製造システムの要部ブロック図

【図30】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート

【図31】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート

【符号の説明】

G i 第i群

I P 像面

M メリディオナル像面

S サジタル像面

Y 像高

1 エキシマレーザ

2 照明光学系

3 レチクル（物体）

7 ウエハ

9 0 9 投影光学系

9 0 0 アライメント光学系

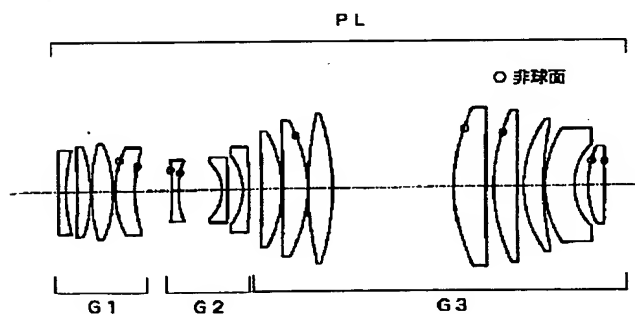
9 1 1 ウエハステージ

9 1 8 コントローラ

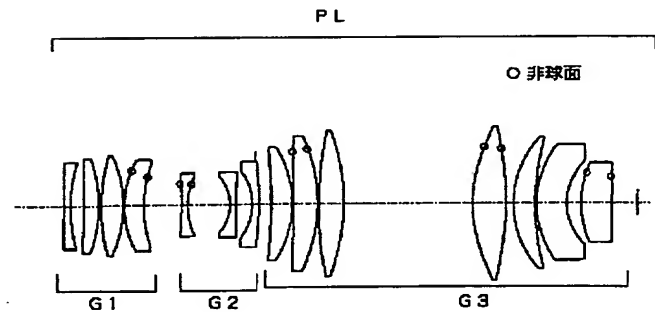
9 1 4 収納装置

9 1 3 検査装置

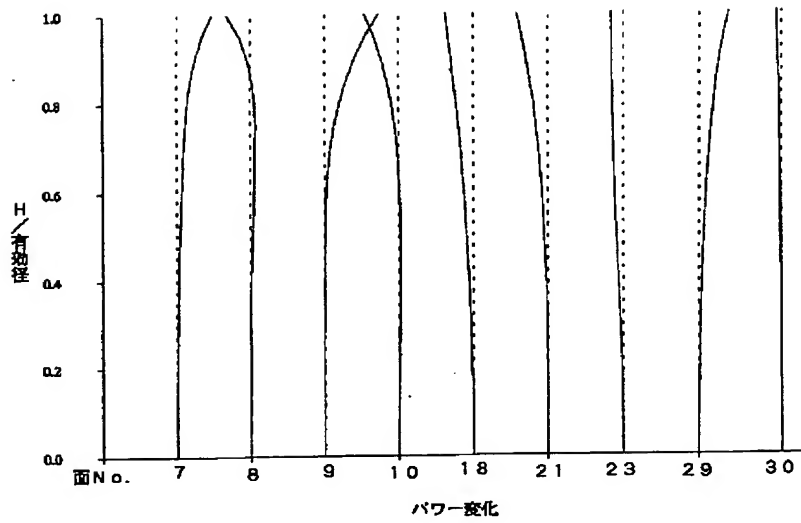
【図1】



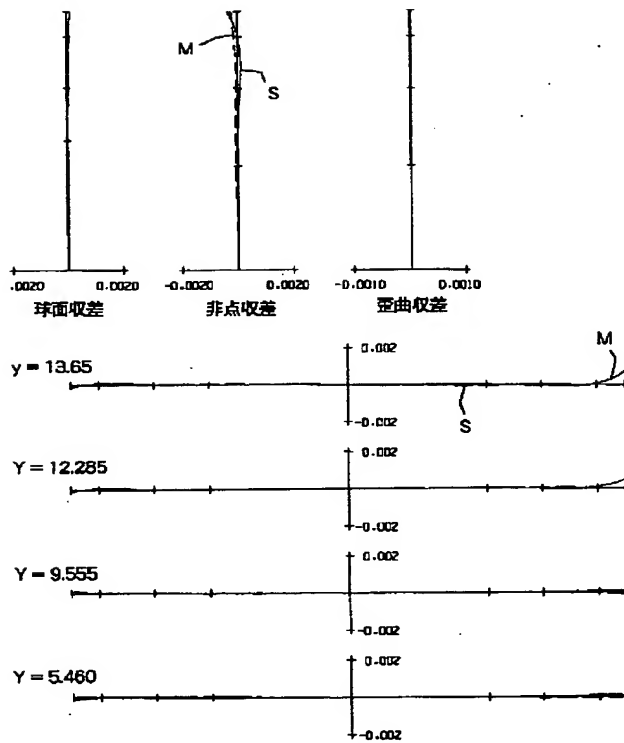
【図4】



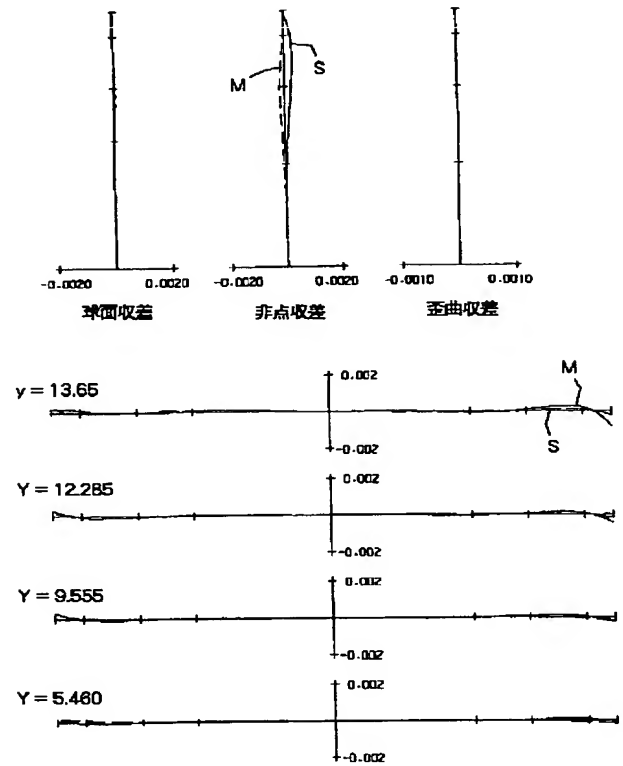
【図2】



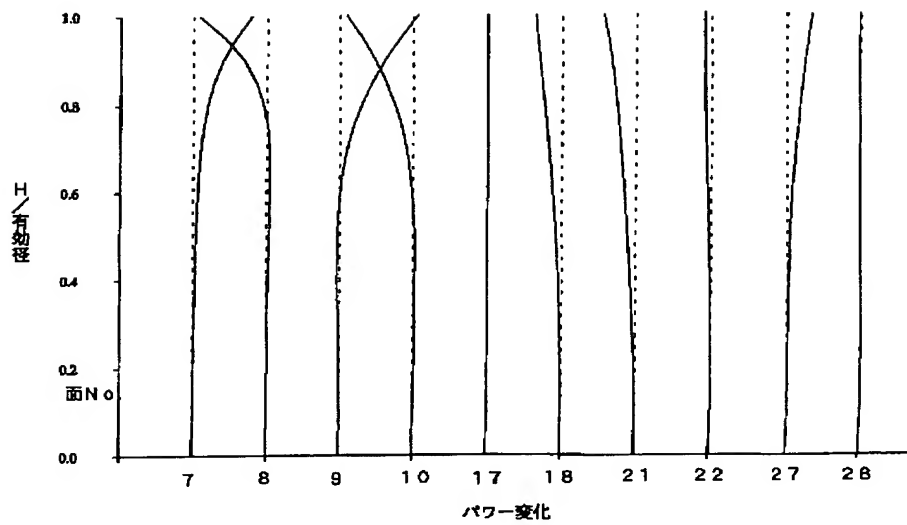
【図3】



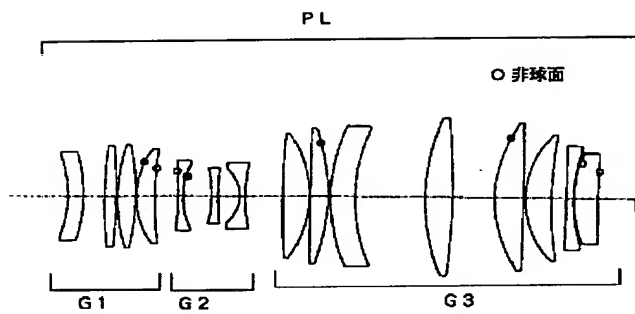
【図6】



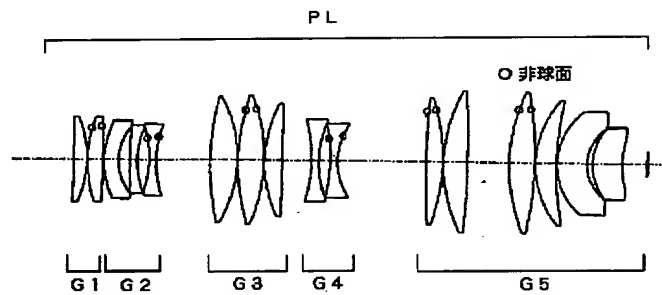
【図5】



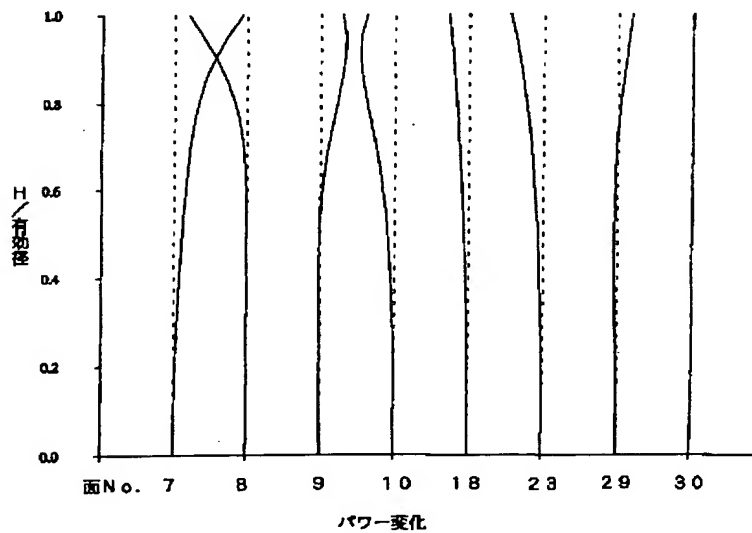
【図7】



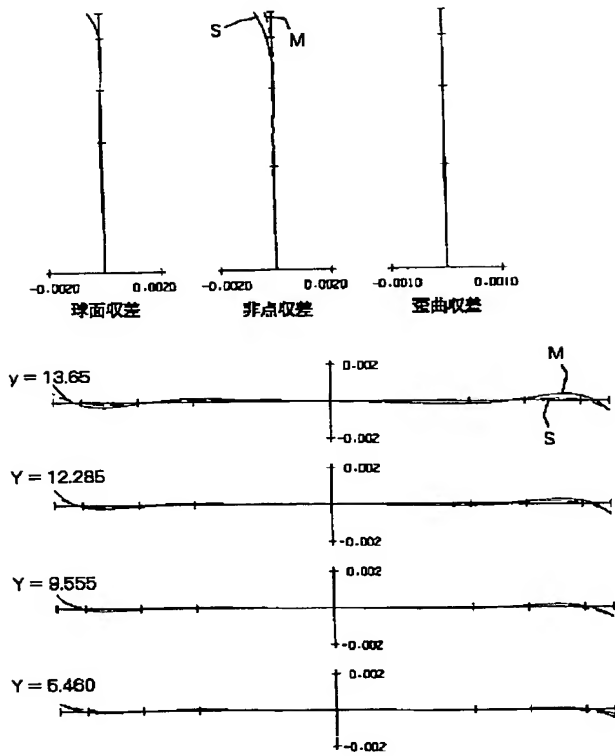
【図16】



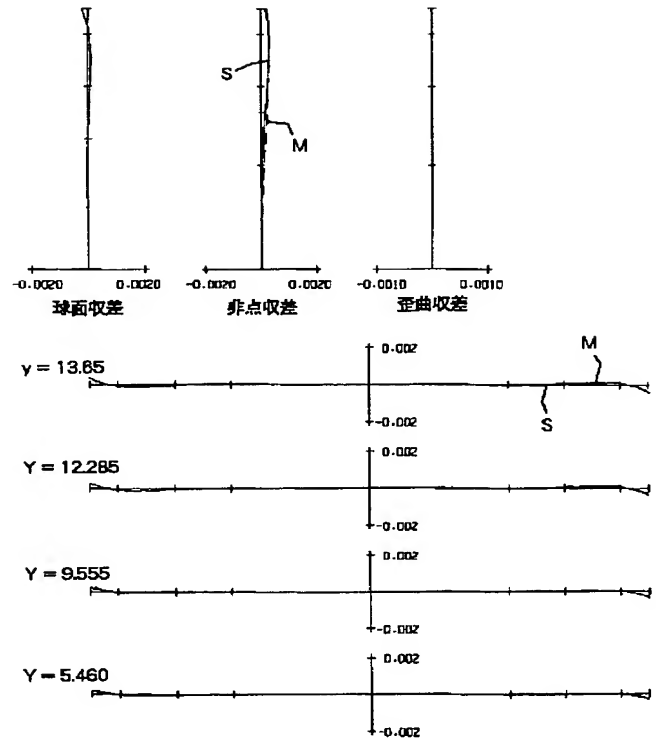
【図8】



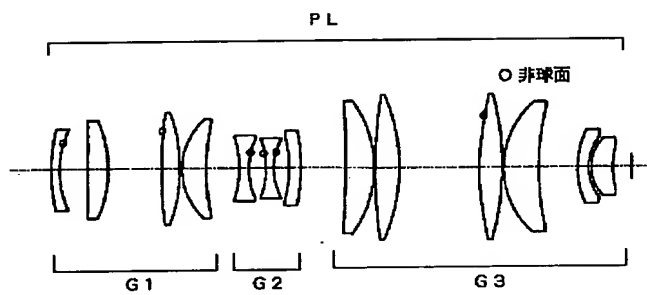
【図9】



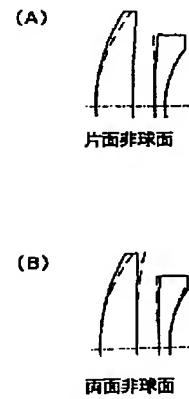
【図12】



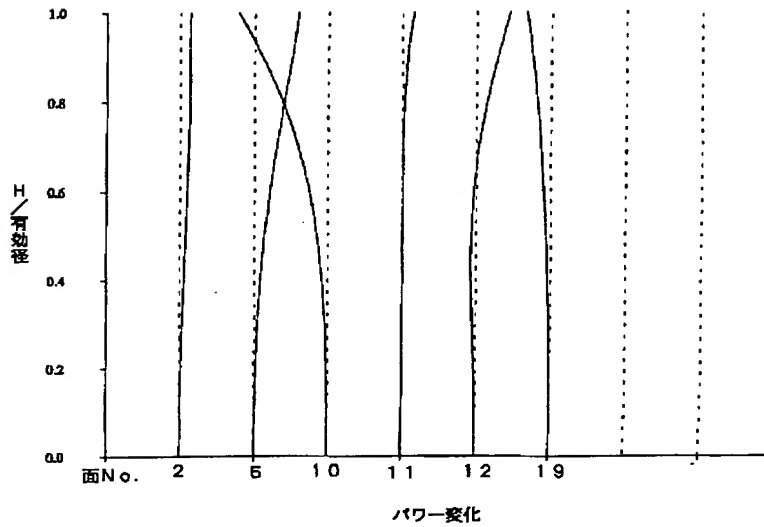
【図10】



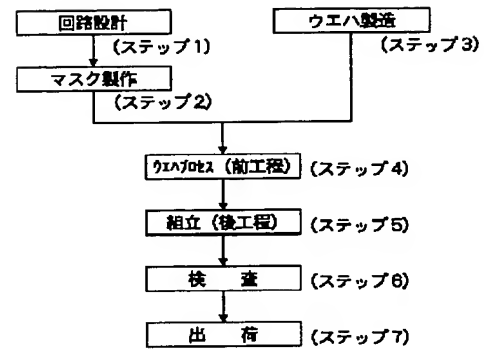
【図28】



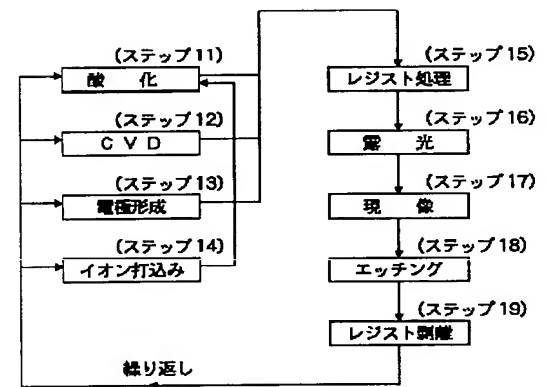
【図11】



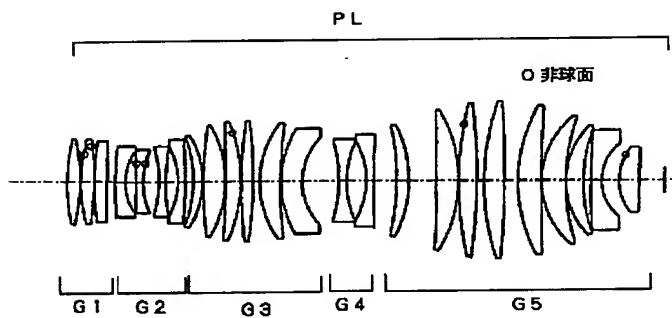
【図30】



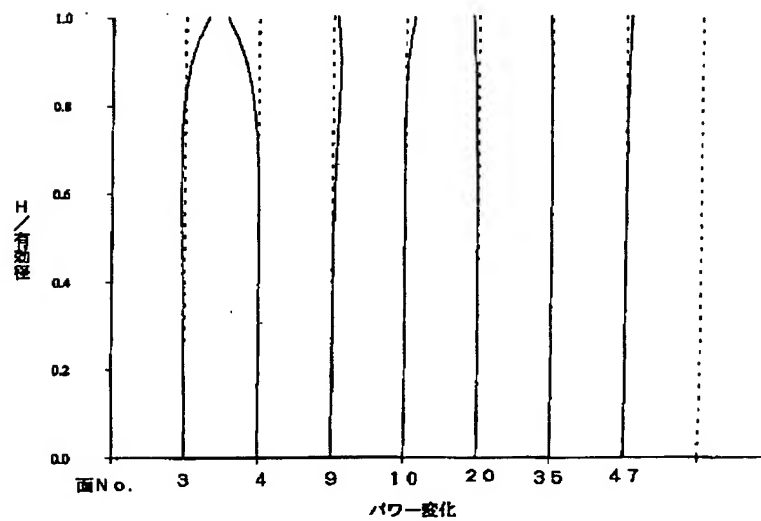
【図31】



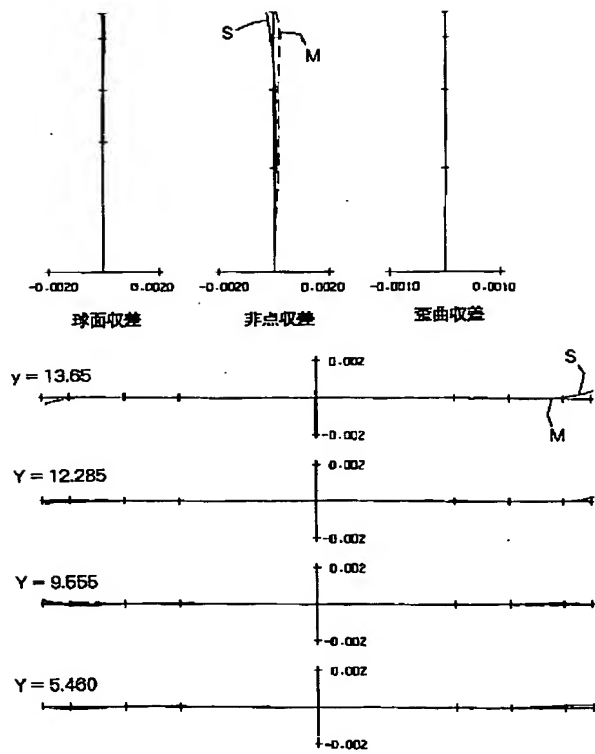
【図13】



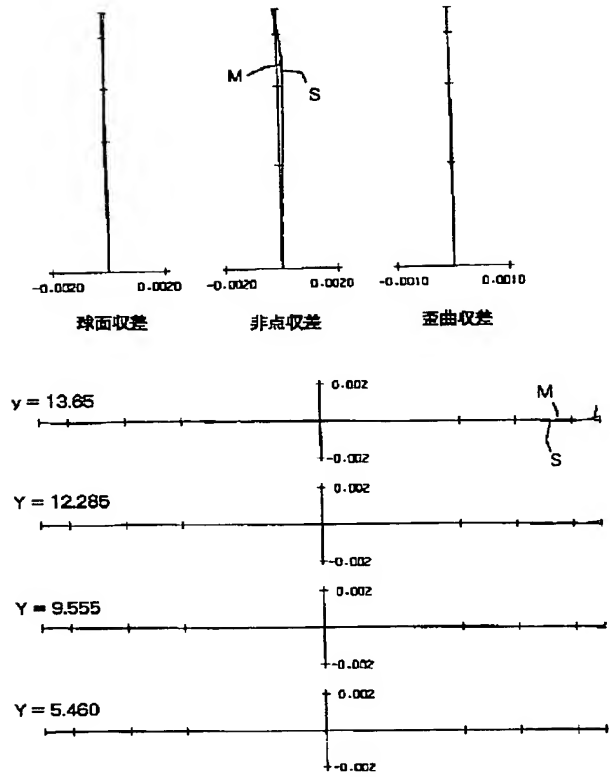
【図14】



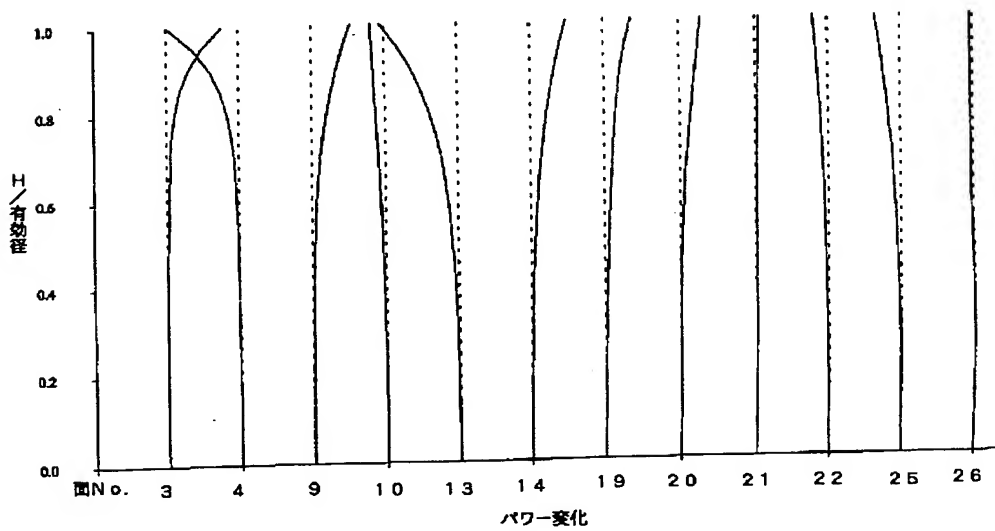
【図15】



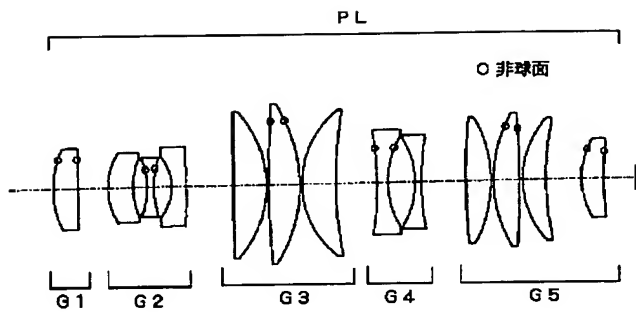
【図18】



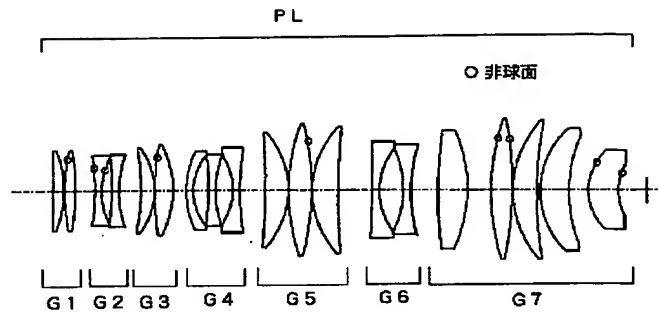
【図17】



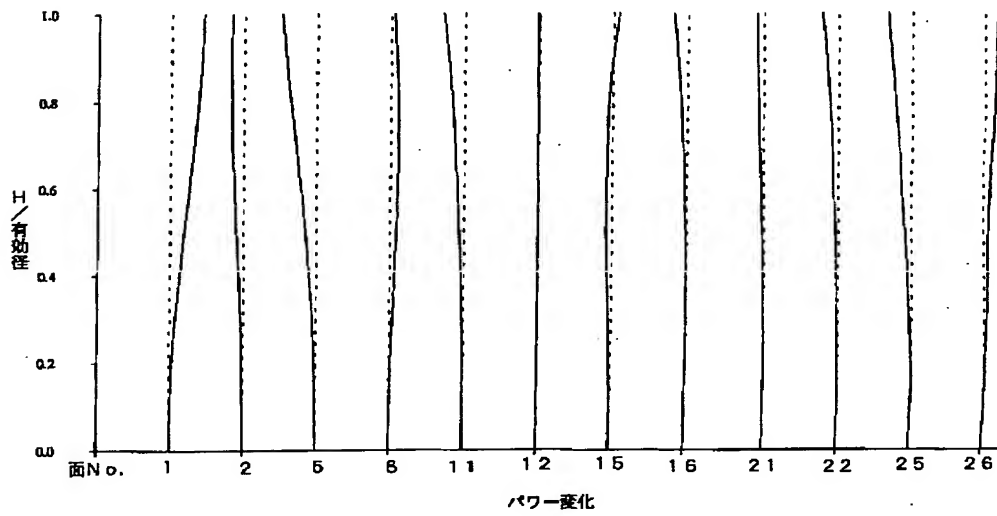
【図19】



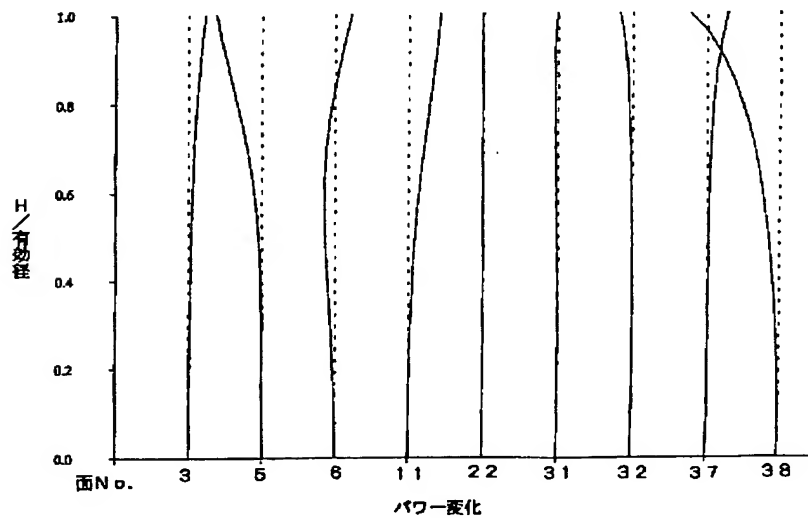
【図22】



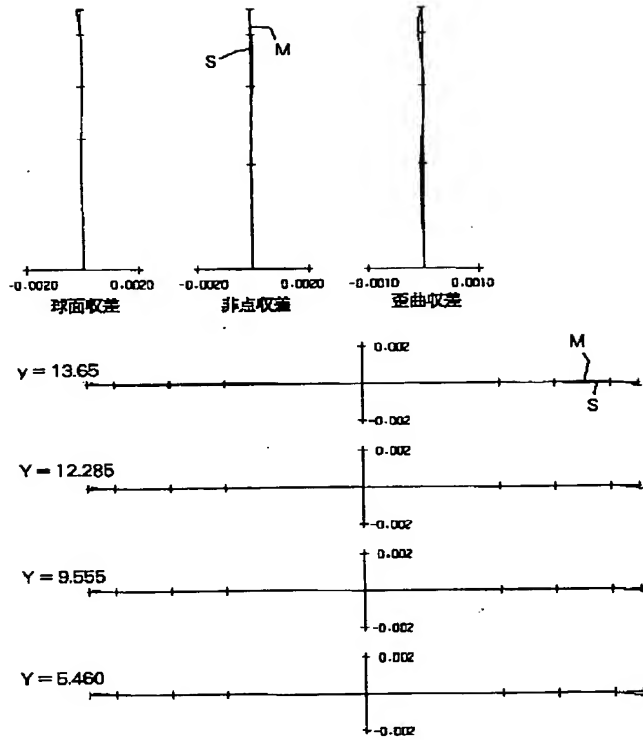
【図20】



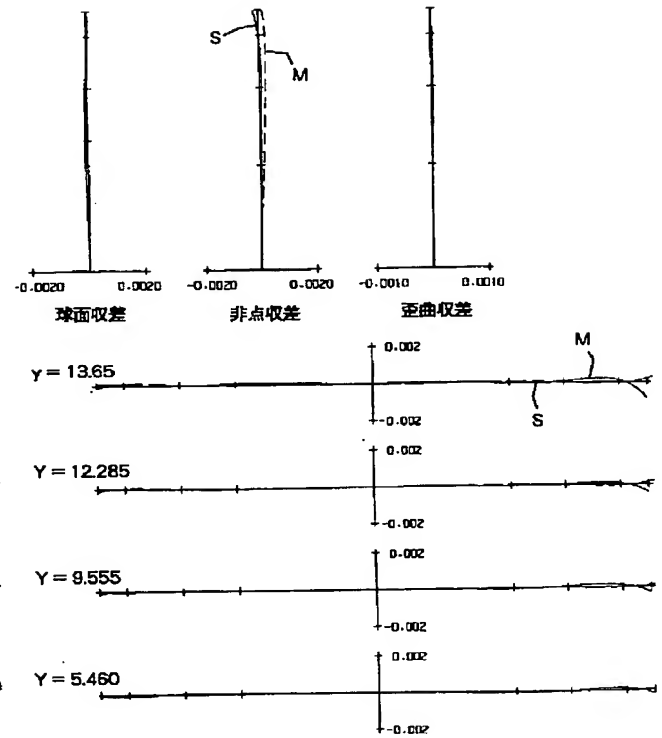
【図23】



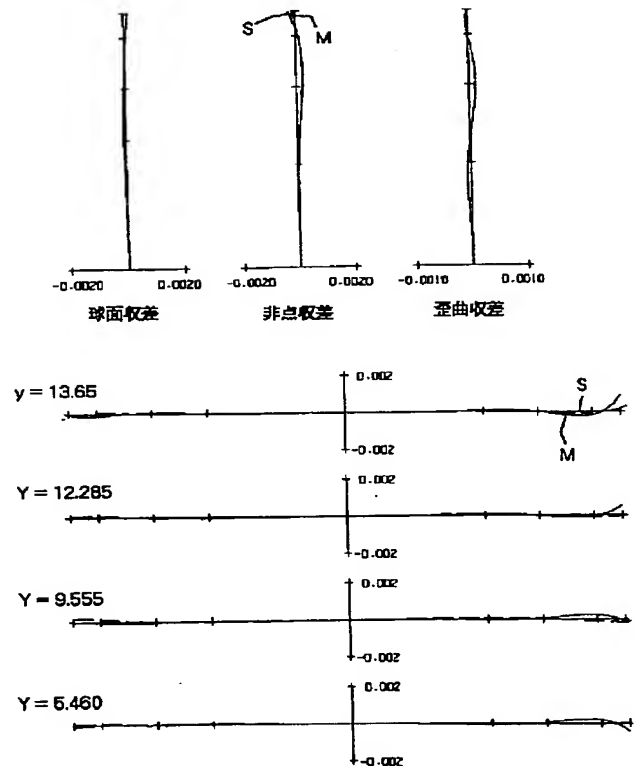
【図21】



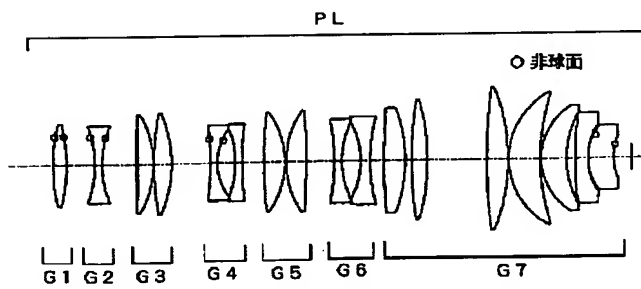
【図24】



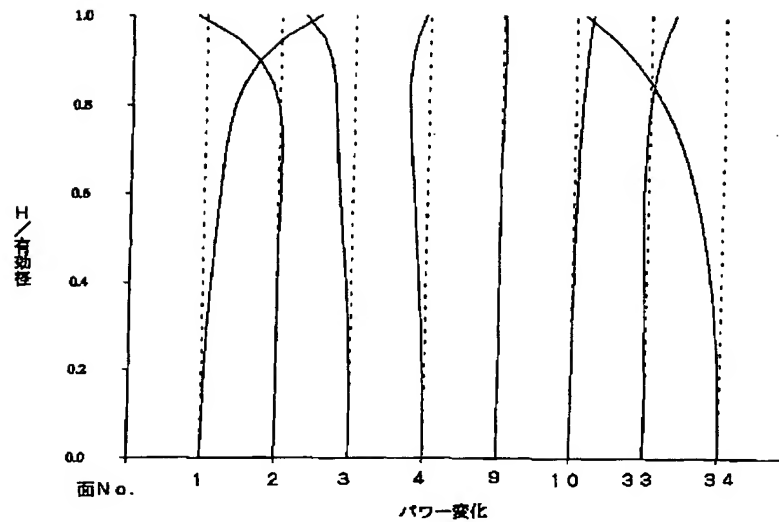
【図27】



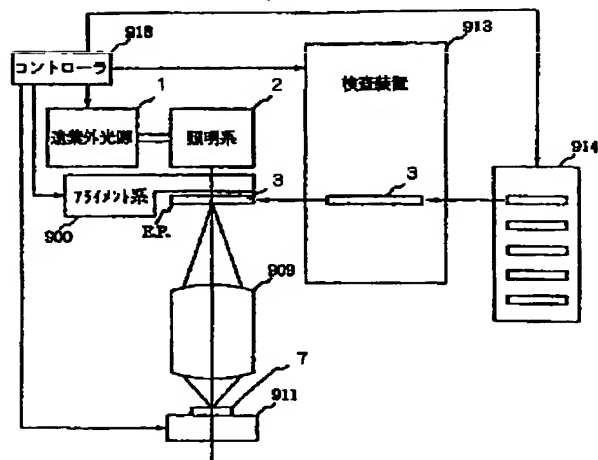
【図25】



【図 2 6】



【図 29】



【手續補正書】

【提出日】平成12年6月12日(2000.6.12)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0070
【補正方法】変更

【補正内容】

【0070】IPは像面であり、投影露光装置に用いたときはウエハ面に相当している。第i群のうち奇数のレンズ群は正の屈折力(凸)のレンズ群、偶数のレンズ群は負の屈折力(凸)のレンズ群である。

フロントページの続き

(72)発明者 石井 弘之
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ
ノン株式会社内

F ターム(参考) 2H087 KA21 NA02 PA13 PA14 PA15
PA17 PB13 PB14 PB15 PB16
PB17 PB19 PB20 QA01 QA12
QA13 QA14 QA17 QA21 QA22
QA25 QA26 QA32 QA34 QA41
QA42 QA45 RA05 RA12 RA13
UA03 UA04
5F046 BA04 BA05 CA04 CB12 CB25